



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de  
conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la  
ciudad de Riobamba**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Cargua Meneses Diego Jair  
Santos Muñoz Franklin Aníbal

**Tutor:**

MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos.

**Riobamba, Ecuador. 2025**

### **DECLARATORIA DE AUTORÍA**

Nosotros, **Diego Jair Cargua Meneses** con cédula de ciudadanía **160082020-1** y **Franklin Aníbal Santos Muñoz** con cédula de ciudadanía **060442030-7**, autores del trabajo de investigación titulado: **Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



**Diego Jair Cargua Meneses**

**C.I: 160082020-1**



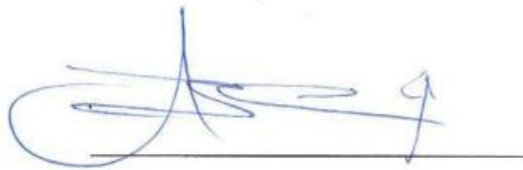
**Franklin Aníbal Santos Muñoz**

**C.I: 060442030-7**

### **DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR**

Quien suscribe, MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba**, bajo la autoría de Diego Jair Cargua Meneses y Franklin Aníbal Santos Muñoz; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los veintisiete días del mes de octubre del 2025.



Lenin Santiago Orozco Cantos

C.I: 060376103-2

### **CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba” presentado por Diego Jair Cargua Meneses con cédula de ciudadanía 160082020-1 y Franklin Aníbal Santos Muñoz con cédula de ciudadanía 060442030-7, bajo la tutoría de MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. María Fernanda Rivera Castillo, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MgS.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





# CERTIFICACIÓN

Que, **CARGUA MENESES DIEGO JAIR** con CC: **160082020-1** y **SANTOS MUÑOZ FRANKLIN ANIBAL** con CC: **060442030-7**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la ciudad de Riobamba"**, cumple con el **10 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de octubre de 2025



Firmado electrónicamente por:  
**LENIN SANTIAGO  
OROZCO CANTOS**

Validar únicamente con FirmaSC

---

MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, pilar fundamental en las decisiones de mi vida, quien ha guiado cada paso de mi camino, sabiendo otorgarme paciencia y coraje para superar las adversidades. A mi familia por su apoyo constante, en especial a mi tío Dr. Raúl Meneses Pérez, PhD., pilar fundamental en el comienzo de esta etapa de mi vida. A todos ellos les dedico este logro como testimonio de que con esfuerzo y perseverancia todo es posible en esta vida.*

*Diego Jair Cargua Meneses*

*Dedico este trabajo a mi familia, pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis padres, Gladis Muñoz y Jorge Santos, por su amor incondicional, apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Ellos han sido mi mayor inspiración y mi fuerza en cada momento de dificultad, y gracias a su ejemplo hoy culmino una etapa fundamental en mi vida personal y profesional.*

*Este logro no es solo mío, sino también de todos aquellos que siempre creyeron en mí, gracias a todos hoy culmino una etapa fundamental en mi vida profesional y personal.*

*Franklin Aníbal Santos Muñoz*

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar este proceso.*

*A la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a la Facultad de Ingeniería, por brindarme los conocimientos, las herramientas y el espacio de formación integral que han hecho posible mi desarrollo como profesional.*

*A mis docentes y tutores, quienes, con su guía académica, sus consejos y exigencia me motivaron a crecer tanto en lo profesional como en lo personal y un especial agradecimiento a la Mgs. Carla Fernanda Silva Padilla, docente que me ha apoyado desde el inicio hasta el final de la carrera, siendo mi docente en todos los semestres de la carrera y la persona a la que acudíamos en busca de sabiduría.*

*Diego Jair Cargua Meneses*

*Expresando primero mi agradecimiento a Dios, por brindarme conocimiento y fuerza todos los días de mi vida.*

*A la persona por la cual todo esto es posible, el amor de vida Laura Noemi que fue el pilar fundamental en mi carrera universitaria.*

*A los docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo en especial agradecimiento al Dr. Iván Alfredo Ríos García, PhD. y al Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MgS., quienes me aconsejaron en momentos difíciles que trascurrieron en el desarrollo de mi carrera, brindándome su apoyo y sabiduría.*

*Franklin Aníbal Santos Muñoz*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLA

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. ....	17
1.1    INTRODUCCIÓN.....	17
1.2    JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3    OBJETIVOS.....	20
1.1.1    Objetivo General.....	20
1.1.2    Objetivos Específicos .....	20
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE .....	21
2.1    MARCO REFERENCIAL.....	21
2.2    MARCO LEGAL.....	22
2.3    MARCO TEÓRICO.....	28
CAPÍTULO III. METODOLOGIA. ....	34
3.1    TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.2    DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.3    LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
3.4    ESTIMACIÓN DE NFU'S.....	36
3.5    DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL.....	38



3.5.1	Identificación del producto o servicio.....	38
3.5.2	Mercado Meta .....	39
3.5.3	Segmentación del Mercado.....	39
3.5.4	Estimación del Precio .....	41
3.5.5	Localización de la planta .....	42
3.5.6	Identificación de la Oferta .....	43
3.5.7	Análisis de la capacidad de la planta .....	43
3.5.8	Determinación de Ingresos .....	43
3.6	ESTUDIO TÉCNICO – FINANCIERO.....	43
3.6.1	Ingeniería del proyecto .....	43
3.7	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	44
3.7.1	Flujos netos de Caja.....	44
3.7.2	Criterios de evaluación .....	44
3.8	ESTUDIO DE VALIDACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	46
3.8.1	Identificación los impactos ambientales .....	46
3.8.2	Desarrollo de validación ambiental .....	46
3.8.3	Criterios de evaluación de la matriz Conesa.....	47
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1	ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA (NFU`S).....	52
4.2	ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL.....	53
4.2.1	Caracterización del producto final .....	53
4.2.2	Segmentación del Mercado.....	55
4.2.3	Precio de la materia prima para la extracción combustible y del acero reciclado de la transformación de NFU`s a combustibles .....	55
4.2.4	Localización de la planta .....	56
4.2.5	Identificación de la Oferta .....	57
4.2.6	Análisis de la capacidad de la planta .....	58
4.2.7	Ingresos de la Planta .....	59

4.3	ESTUDIO TÉCNICO.....	60
4.3.1	Ingeniería del proyecto .....	60
4.3.2	Organigrama del Proceso Administrativo .....	61
4.3.3	Flujograma del proceso productivo .....	62
4.3.4	Flujograma de la maquinaria .....	63
4.3.5	Descripción productiva de la planta.....	63
4.3.6	Inversiones Fijas .....	67
4.3.7	Activos diferidos e Intangibles .....	71
4.3.8	Materia Prima.....	71
4.3.9	Costos de mano de obra .....	72
4.3.10	Gastos de Administración .....	74
4.3.11	Resumen de Inversiones .....	74
4.3.12	Estructura Financiera .....	75
4.3.13	Proyección de Egresos .....	76
4.3.14	Proyección de Ingresos y Egresos Totales .....	77
4.3.15	Flujo de caja Neto .....	80
4.4	CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	82
4.5	VALIDACIÓN AMBIENTAL.....	83
4.5.1	Análisis de los potenciales de Riesgos.....	89
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....		90
ANEXOS .....		93

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1</b>	Composición de un neumático .....	29
<b>Tabla 2</b>	Límites del cantón Riobamba.....	35
<b>Tabla 3</b>	Total de neumáticos en la ciudad de Riobamba .....	36
<b>Tabla 4</b>	Listado de productores de NFU`s en la ciudad de Riobamba para el año 2025 .....	36
<b>Tabla 5</b>	Peso promedio de los neumáticos según su rin .....	38
<b>Tabla 6</b>	Parámetros para evaluar del nuevo combustible .....	38
<b>Tabla 7</b>	Listado de clientes potenciales para el nuevo combustible .....	40
<b>Tabla 8</b>	Ecovalor para cada tipo de neumático.....	41
<b>Tabla 9</b>	Valorización de la Extensión .....	48
<b>Tabla 10</b>	Valorización del Momento .....	48
<b>Tabla 11</b>	Valorización de la Persistencia .....	49
<b>Tabla 12</b>	Valorización de la Reversibilidad.....	49
<b>Tabla 13</b>	Valorización de la Sinergia.....	50
<b>Tabla 14</b>	Valorización de la Acumulación.....	50
<b>Tabla 15</b>	Valorización del Efecto .....	50
<b>Tabla 16</b>	Valorización de la Periodicidad.....	51
<b>Tabla 17</b>	Valorización de la Recuperabilidad.....	51
<b>Tabla 18</b>	Estimación de la materia prima en una proyección de 5 años .....	52
<b>Tabla 19</b>	Estimación de la cantidad de caucho y acero reciclado .....	53
<b>Tabla 20</b>	Estudios sobre las características fisicoquímicas del combustible.....	54
<b>Tabla 21</b>	Características del combustible a partir de la pirólisis de NFU`s. ....	54
<b>Tabla 22</b>	Determinación de la demanda de combustibles por parte de los clientes industriales..	55
<b>Tabla 23</b>	Precio estándar del acero reciclado en el Ecuador .....	56
<b>Tabla 24</b>	Análisis de conversión de productos.....	58
<b>Tabla 25</b>	Determinación de la oferta de los productos de la planta .....	58
<b>Tabla 26</b>	Capacidad de la planta.....	59
<b>Tabla 27</b>	Ingresos de la planta por la oferta de combustible .....	59

<b>Tabla 28</b>	Ingresos de la planta por la oferta de acero reciclado .....	60
<b>Tabla 29</b>	Gastos de Construcción .....	60
<b>Tabla 30</b>	Cuadro explicativo del proceso productivo de la planta de transformación de NFU's. 63	
<b>Tabla 31</b>	Muebles de Oficina .....	67
<b>Tabla 32</b>	Equipos de Computo .....	68
<b>Tabla 33</b>	Maquinaria y equipo.....	69
<b>Tabla 34</b>	Edificios .....	69
<b>Tabla 35</b>	Costos de Transporte para el combustible.....	70
<b>Tabla 36</b>	Costos de Transporte para el metal reciclado.....	70
<b>Tabla 37</b>	Costos de Transporte para los productos finales de la plata.....	71
<b>Tabla 38</b>	Gastos de constitución de la planta .....	71
<b>Tabla 39</b>	Costos de Materia Prima .....	72
<b>Tabla 40</b>	Personal necesario para el funcionamiento de la planta en general. ....	73
<b>Tabla 41</b>	Descripción de los gastos de administración.....	74
<b>Tabla 42</b>	Determinación de la Inversión Total .....	75
<b>Tabla 43</b>	Estructura financiera .....	75
<b>Tabla 44</b>	Amortización del préstamo para un periodo de 5 años .....	76
<b>Tabla 45</b>	Gastos de Administración para una proyección de 5 años .....	76
<b>Tabla 46</b>	Gastos no operacionales para una proyección de 5 años .....	77
<b>Tabla 47</b>	Proyección total de ingresos.....	77
<b>Tabla 48</b>	Proyección total de egresos .....	78
<b>Tabla 49</b>	Estado de Resultados.....	78
<b>Tabla 50</b>	Tasa mínima aceptable de Retorno (TMAR) .....	80
<b>Tabla 51</b>	Flujo de efectivo de la operación de la planta .....	80
<b>Tabla 52</b>	Evaluación financiera final.....	82
<b>Tabla 53</b>	Período de recuperación .....	82
<b>Tabla 54</b>	Reducción de CO <sub>2</sub> al ambiente por el uso de combustibles pirolíticos.....	84
<b>Tabla 55</b>	Identificación de las interacciones del proyecto para con el ambiente .....	85

<b>Tabla 56</b> Caracterización del impacto ambiental por el funcionamiento de la planta. ....	87
<b>Tabla 57</b> Medidas para los posibles riesgos por la operación de la planta.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica del cantón Riobamba.....	35
<b>Figura 2</b> Ubicación geográfica de las Importadoras de Neumáticos en la ciudad de Riobamba. 37	
<b>Figura 3</b> Ubicación geográfica de las empresas consumidoras para el nuevo combustible .....	40
<b>Figura 4</b> Ubicación geográfica del área declarada como Parque Industrial .....	42
<b>Figura 5</b> Imagen satelital de la infraestructura de la empresa IMSA estructuras metálicas .....	57
<b>Figura 6</b> Gráfico del proceso administrativo de la planta de pirólisis convertir NFU's en combustible.....	61
<b>Figura 7</b> Gráfico del proceso productivo de la planta de pirólisis de NFU's a combustible. ....	62
<b>Figura 8</b> Flujo de operaciones de la maquinaria MJL-15 .....	63
<b>Figura 9</b> Costos de mano de obra en general para el proyecto .....	73

## RESUMEN

Este proyecto surge como respuesta al desafío ambiental generado por la generación de neumáticos fuera de uso (NFU) en Riobamba, Ecuador, donde el crecimiento vehicular (de 35.000 vehículos en 2022 a 65.000 vehículos en 2024) produce aproximadamente 1.500 toneladas anuales de NFU (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022), contribuyendo a la degradación del suelo, agua y aire mediante vertederos saturados, quema incontrolada y liberación de contaminantes tóxicos como dioxinas y metales pesados (Wu et al., 2025).

El presente trabajo de titulación, con un enfoque mixto descriptivo evalúa la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar una planta de pirólisis para transformar neumáticos fuera de uso (NFU) en combustibles alternativos, alineándose con principios de economía circular e ingeniería ambiental sostenible. A través del proceso de pirólisis termoquímica anaeróbica (450-550°C), que transforma <sup>1</sup>NFU en combustibles líquidos, carbón black, acero reciclado y gas de síntesis, mediante un pretratamiento de triturado y pulverizado, y una planta de pirólisis modelo MJL-15 que procesará unas 1924 toneladas al año, evaluando los rendimientos y parámetros operativos.

En el análisis económico, se calcularon indicadores como un <sup>2</sup>VAN de \$27.932,49, una <sup>3</sup>TMAR de 20,27%, una <sup>4</sup>TIR de 22,81% y un periodo de recuperación de la inversión de 3,7 años, lo que indica que la planta será rentable a largo plazo. En cuanto al impacto ambiental, se estima que el uso del combustible del nuevo combustible, es donde se genera un beneficio ambiental en reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub> (Zhao et al., 2025), se evitará la emisión de 7.088,64 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en los primeros cinco años de operación, apoyando los Objetivos de Desarrollo Sostenible 12 y 13. Los resultados económicos y ambientales muestran que la planta de pirólisis es una opción viable para la gestión de NFU.

1 NFU; Neumáticos Fuera de Uso, 2 VAN; Valor Actual Neto, 3 TMAR; Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, 4 TIR; Tasa Interna de Retorno

**Palabras clave:** ambiente, factibilidad, NFU's, pirólisis, validación.

## ABSTRACT

This project emerges as a response to the environmental challenge caused by the generation of end-of-life tires (ELT) in Riobamba, Ecuador, where vehicle growth (from 35,000 vehicles in 2022 to 65,000 vehicles in 2024) produces approximately 1,500 tons of ELT annually (Ministry of Environment, Water and Ecological Transition, 2022). This contributes to soil, water, and air degradation through saturated landfills, uncontrolled burning, and the release of toxic pollutants such as dioxins and heavy metals (Wu et al., 2025).

This degree project, using a mixed-methods descriptive approach, evaluates the technical, economic, and environmental feasibility of implementing a pyrolysis plant to convert end-of-life tires (ELT) into alternative fuels, aligning with circular-economy principles and sustainable environmental engineering. Through anaerobic thermochemical pyrolysis (450–550°C), ELTs are converted into liquid fuels, carbon black, recycled steel, and syngas, following a pretreatment process of shredding and pulverization. A model MJL-15 pyrolysis plant will process approximately 1,924 tons per year, evaluating yields and operational parameters.

In the economic analysis, indicators were calculated, including an NPV of \$27,932.49, an IRR of 22.81%, a profitability index of 20.27%, and an investment recovery period of 3.7 years, indicating that the plant will be profitable in the long term. Regarding environmental impact, the use of the new fuel reduces CO<sub>2</sub> emissions (Zhao et al., 2025). A total of 7,088.64 tons of CO<sub>2</sub> equivalent emissions will be avoided during the first five years of operation, supporting Sustainable Development Goals 12 and 13. The economic and environmental results show that the pyrolysis plant is a viable option for ELT management.

**Keywords:** Environment, feasibility, NFUs, pyrolysis, validation.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604257881



## **CAPÍTULO I.**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

La acumulación de neumáticos fuera de uso representa un desafío ambiental significativo a nivel local y global, especialmente en lugares con poca infraestructura para manejar residuos. Cada año, se desechan más de 1,5 mil millones de neumáticos en el mundo, lo que agrava la contaminación ambiental, el uso de vertederos, el abandono ilegal y la quema sin control. Estas prácticas liberan contaminantes tóxicos como dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP: benzopireno, antraceno, fenantreno y pireno) y metales pesados como Al, Fe, Mn, etc. (Zhao et al., 2025).

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente calcula que se desechan unos 3,5 millones de neumáticos al año, y Riobamba aporta alrededor de 1.500 toneladas anuales de NFU debido a su crecimiento urbano e industrial (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020). Estos datos muestran la urgencia de buscar soluciones sostenibles para la gestión de residuos, siguiendo los principios de la economía circular, que busca convertir los desechos en nuevos recursos y reducir el impacto ambiental.

El manejo inadecuado de los NFU presenta varios retos. Los vertederos en Ecuador están casi llenos y, como los neumáticos no son biodegradables, permanecen en el ambiente por mucho tiempo. Además, la quema sin control, que aún se practica en algunas zonas, libera gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, lo que contribuye al cambio climático y la contaminación del aire. Los líquidos que se filtran de los montones de neumáticos también contaminan el suelo y las aguas subterráneas con metales pesados (Czajczyńska et al., 2017).

Actualmente, se usan métodos físicos como el reencauchado, la molienda o su uso como aditivos en pistas deportivas o asfalto, pero estos métodos no aprovechan el potencial energético de los NFU, que pueden generar hasta 40 MJ/kg de energía. Por eso, procesos térmicos como la gasificación o la pirólisis se consideran alternativas para generar energía (Trujillo, 2014). La pirólisis es un proceso que descompone materiales orgánicos a altas temperaturas, sin oxígeno, y puede transformar los NFU en productos útiles como combustible líquido, carbón black, acero y gas de síntesis. Estos productos pueden usarse en la industria o como fuente de energía en el mismo

proceso (Martínez et al., 2013). El combustible líquido tiene un valor energético similar al diésel (~40 MJ/kg) y puede emplearse en industrias como la cementera, mientras que el carbón black y el acero pueden reutilizarse en la manufactura.

El pirólisis se alinea los principios de la economía circular, ya que convierte residuos en recursos, reduce el uso de vertederos y disminuye las emisiones de la incineración. Sin embargo, para implementarla es necesario evaluar su viabilidad técnica (como la eficiencia del proceso y la calidad del producto), económica (costos de inversión y demanda de mercado) y ambiental (emisiones y cumplimiento de normas).

Este estudio busca analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta de pirólisis de NFU en Riobamba, enfocándose en su aporte a la gestión de residuos y la producción de combustibles alternativos. El proyecto toma como referencia experiencias exitosas, como la planta Arrigoni Ambiental en Chile, que procesa 800 toneladas de NFU al mes (Rojas, 2025). Además, responde a los llamados internacionales para una gestión sostenible de residuos, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en especial el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 13 (Acción por el Clima).

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Riobamba se evidencia un incremento constante del parque automotor, registrándose aproximadamente 65.000 vehículos matriculados en el año 2024, según datos proporcionados por la Dirección de Gestión de Movilidad, Tránsito y Transporte de Riobamba. Este número de automóviles contribuye significativamente a la generación de neumáticos usados, considerando que cada vehículo posee, como mínimo, cuatro unidades. Los neumáticos son sometidos a un proceso de vulcanización con azufre para una mejorar la resistencia a la tracción y al desgarró, el vulcanizado es químicamente irreversible, impide su reciclaje para la fabricación de nuevos neumáticos, convirtiéndolos en productos de un solo uso (Hita et al., 2016).

Una alternativa para alargar la vida útil de los neumáticos es el reencauche. Sin embargo, este sector no ha tenido éxito en el país por la falta de cultura y el manejo inadecuado de los neumáticos. Las empresas rechazan el 40% de los neumáticos recolectados porque no son aptos para el reencauche y se destinan a otros usos, como la trituración para asfalto, lo que desaprovecha su potencial energético (Vásquez, 2017).

La demanda de neumáticos reencauchados en el mercado es baja y presenta una limitada aceptación por parte de los consumidores esto se debe a que su vida útil suele ser bastante corta y pocos NFU cumplen con los estándares mínimos para el proceso (Zhao et al., 2025).

La industria ecuatoriana en busca de reducir costos ha empezado a usar combustibles hechos de residuos en sus procesos térmicos, casos ejemplares dentro de la ciudad es UCEM-Cemento Chimborazo empresa que utiliza aceites usados como aditivos para reducir el uso de combustibles fósiles. Estas acciones cuentan con el respaldo de la autoridad ambiental, bajo la política 7.4 del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, que promueve el uso sostenible de los recursos naturales y la reducción de emisiones.

Los proyectos alineados con los principios de economía circular inclusiva suelen considerarse de inversiones de alto riesgo, por lo que requieren estudios de factibilidad para evaluar su éxito o fracaso. De acuerdo con Córdoba (2011), estos estudios deben abordar, como mínimo, las siguientes dimensiones: técnica, ambiental y económica,

### **1.3 OBJETIVOS**

#### ***1.1.1 Objetivo General***

Determinar la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos en la ciudad de Riobamba.

#### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Realizar una validación económica a nivel local para identificar el mercado potencial de los productos finales de la planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos y así conocer la factibilidad de construcción de la misma.
- Desarrollar una validación ambiental sobre la operación de una planta de conversión de NFU's a combustibles líquidos como parte de una solución al problema de contaminación en la ciudad de Riobamba.

## **CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 MARCO REFERENCIAL**

El análisis sobre la viabilidad de plantas que transforman neumáticos fuera de uso (NFU) en nuevos combustibles ha sido abordado en investigaciones previas. En 2015, el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del País Vasco realizó el estudio “Oportunidades y barrera para producir combustibles de alta calidad a partir del pirólisis de neumáticos usados”. Este estudio concluye que las plantas de pirólisis presentan un alto potencial de desarrollo a nivel industrial, debido a la versatilidad y valor comercial de los tres subproductos generados, combustibles líquidos, carbón black y gases que ofrecen diversas aplicaciones, lo que mejora la viabilidad económica del proceso (Hita et al., 2016).

Un ejemplo exitoso en Latinoamérica es la empresa Arrigoni Ambiental en Chile, que opera desde septiembre de 2019. Esta planta utiliza los NFU para producir combustible líquido similar al Fuel Oil 6, además de carbón black y acero. Su capacidad de procesamiento es de aproximadamente 10,000 toneladas de NFU al año, lo que representa el 7% de la producción anual del país. Destaca su habilidad para establecer alianzas estratégicas, permitiendo que los subproductos reemplacen materiales no renovables en sectores como la minería, la industria química, la construcción y la energía (Rojas, 2025).

En el ámbito nacional, se han desarrollado diversos estudios de factibilidad orientados a la gestión y eliminación de residuos no peligrosos. Sin embargo, son escasas las investigaciones que abordan específicamente la producción de combustibles derivados de neumáticos fuera de uso (NFU) como una alternativa de aprovechamiento energético. Este tipo de análisis es fundamental, ya que se enfoca en demostrar la viabilidad económica y ambiental del proceso, y por lo tanto, su factibilidad técnica y social de implementar estos proyectos.

## **2.2 MARCO LEGAL**

***Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial No. 449 de 20 de octubre de 2008***

**Artículo 14:** *“Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.*

**Artículo 264:** *“Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que determine la ley:*

*4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”.*

**Artículo 276:** *“El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:*

*4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”.*

**Artículo 280:** *“El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores”.*

**Artículo 415:** “(...). Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (...)”.

### ***Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la ONU***

**Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles:** “*Pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, algo fundamental para sostener los medios de subsistencia de las generaciones actuales y futuras (...), Los gobiernos deben implantar y poner en práctica políticas y normativas que recojan medidas como el establecimiento de objetivos para reducir la generación de residuos, el fomento de prácticas de economía circular, y el apoyo a políticas de contratación sostenible (...)*”.

**Objetivo 12: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos:** “*Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales, las emisiones ya deberían estar disminuyendo y necesitan reducirse casi a la mitad para 2030, dentro de solo siete años. Sin embargo, estamos muy lejos de lograr este objetivo. Es crucial tomar medidas urgentes y transformadoras que vayan más allá de meros planes y promesas. Esto exige aumentar las ambiciones, abarcar economías enteras y avanzar hacia un desarrollo resiliente al clima, al tiempo que se traza una trayectoria clara para lograr cero emisiones netas. El tiempo se acaba y es necesario tomar medidas inmediatas para evitar consecuencias catastróficas y garantizar un futuro sostenible a las generaciones venideras*”.

***Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), publicado en el Registro Oficial No. 303 de 19 de octubre de 2010***

**Artículo 136:** “*Corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales gobernar, dirigir, ordenar, disponer, u organizar la gestión ambiental, la defensoría del ambiente y la naturaleza, en el ámbito de su territorio; estas acciones se realizarán en el marco del sistema nacional descentralizado de gestión ambiental y en concordancia con las políticas emitidas por la autoridad ambiental nacional (...)*”.

***Código Orgánico del Ambiente (CODA), publicado en el Registro Oficial No. 983 de 12 de abril de 2017***

**Artículo 23:** *“Autoridad Ambiental Nacional. El Ministerio del Ambiente será la Autoridad Ambiental Nacional y en esa calidad le corresponde la rectoría, planificación, regulación, control, gestión y coordinación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental”.*

**Artículo 225:** *“- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:*

*5. El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;*

*6. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;*

*7. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;*

*9. El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;”*

**Artículo 231:** *“Obligaciones y responsabilidades. Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:*

*4. Los gestores de residuos no peligrosos que prestan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases, serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones*



*en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales”.*

**Artículo 232:** *“Art. 232.- Del reciclaje inclusivo. La Autoridad Ambiental Nacional o los Gobiernos Autónomos Descentralizados, según su competencia, promoverán la formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel nacional y local, cuya participación se enmarca en la gestión integral de residuos como una estrategia para el desarrollo social, técnico y económico(...)”.*

**Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (CODA), publicado en el Registro Oficial No. 507 de 12 de junio de 2019**

**Artículo 572:** *“Actores. - Las entidades públicas que participan en la gestión integral de residuos y desechos son las siguientes:*

- a) La Autoridad Ambiental Nacional;*
- b) La Autoridad Sanitaria Nacional;*
- c) La Autoridad Nacional de Electricidad y Energía Renovable; y,*
- d) Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos”.*

**Artículo 573:** *“Atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional. - Sin perjuicio de aquellas establecidas en la Constitución y la ley, las atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional, respecto a la gestión integral de residuos y desechos, son las siguientes:*

- o) Brindar acompañamiento técnico a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos respecto de sus modelos de gestión integral de residuos y desechos, con el fin de incrementar sus capacidades y minimizar el impacto en el ambiente; p) Promover la investigación científica en los centros especializados, institutos e instituciones de educación superior del país sobre el manejo de residuos y desechos;”*

**Artículo 574:** *“Gestión de desechos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos. - Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos para la gestión integral de los residuos y desechos, considerarán lo siguiente:*

*j) Impulsar la instalación y operación de centros de recuperación y tratamiento de residuos sólidos aprovechables con la finalidad de fomentar el aprovechamiento;*

*l) Determinar en sus Planes de Ordenamiento Territorial los sitios previstos para disposición final de desechos no peligrosos, y sanitarios, así como los sitios para acopio y transferencia de ser el caso”.*

**Artículo 578:** *“Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos. La Autoridad Ambiental Nacional elaborará el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos, con la participación de los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, las entidades competentes, sector privado, sociedad civil y academia. El Plan Nacional será el instrumento de política pública a través del cual se generarán las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. A través del Plan, la Autoridad Ambiental Nacional establecerá objetivos y metas orientados a la aplicación y cumplimiento del principio de jerarquización de la gestión integral de residuos y desechos conforme el Código Orgánico del Ambiente”.*

**Ley orgánica de Economía Circular Inclusiva, publicada en el Registro Oficial Suplementario No. 488 de 02 de julio de 2021**

**Artículo 4:** *“Objetivos de la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva. - Son objetivos de esta Ley los siguientes:*

*4. Fomentar la investigación, el desarrollo económico, la generación de empleo y la innovación en los ámbitos de la economía circular inclusiva, propiciando la participación comprometida y corresponsable del sector público, privado, del sector de la economía popular y solidaria y la ciudadanía.*

*6. Fomentar el aprovechamiento y valorización de residuos de productos priorizados mediante reciclaje.*

**Artículo 47:** *“Incentivos y calificación de circularidad.- El Sistema Nacional de Economía Circular Inclusiva diseñará un sistema de calificación de sello Economía Circular dirigido a productores, y proveedores de bienes y servicios, basado en el cumplimiento de las metas establecidas en la Estrategia Nacional de Economía Circular Inclusiva y de otros parámetros de la economía circular inclusiva como ecodiseño e innovación, puntos de separación en la fuente, sistemas de gestión asociativos y cooperativos, reducción de residuos, reparación, reciclaje, información y educación en economía circular, entre otros”.*

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### *Problemática de los neumáticos como residuos*

La gestión de NFU como un residuo el cual es considerado especial por sus características de degradación partiendo de que ocupan gran volumen en vertederos, por su poder calorífico aumentan el riesgo de ignición y liberan sustancias nocivas para el ambiente, por estas razones se considera residuo especial y necesita de una gestión adecuada, la otra problemática viene encaminada a su generación la cual se ha visto en aumento en los últimos años y se prevé que lo siga haciendo por la importancia de los neumáticos en la sociedad (Grammelis et al., 2021).

### *Composición Química estándar de neumáticos*

Los neumáticos son el resultado de un trabajo de alta ingeniería, se compone de una banda de rodadura, carcasas, el revestimiento interior y el flanco, cada componente fue diseñado para para cumplir con características específicas de rendimiento para que el neumático presente dureza, resistencia y fiabilidad (Mayer et al., 2024).

El caucho pasa ser el material principal para su composición, caucho natural y caucho sintético, en proporciones 50/50 generalmente, la cual varía según el uso del neumático para vehículos livianos contienen más caucho sintético y para vehículos de carga pesada contienen mínimas proporciones o nulas, la importancia de conocer las proporciones de materiales en la composición es que los neumáticos por cuestiones de envejecimiento y disposición liberan contaminantes que se encuentran presente en las materias primas de fabricación (Mayer et al., 2024).

Conociendo las principales materias primas empleadas en la fabricación de neumáticos, se puede establecer que su composición química varía en función del tipo y propósito del neumático, ya que cada diseño requiere propiedades específicas de resistencia, durabilidad y desempeño. En la Tabla 1 se presenta la composición aproximada de los materiales utilizados en neumáticos destinados a vehículos livianos y vehículos pesados, evidenciando las diferencias en las proporciones de caucho natural, caucho sintético, cargas, aditivos y refuerzos metálicos.

**Tabla 1**

*Composición de un neumático*

<b>Tipo de Neumático</b>	<b>Caucho y elastómeros (%)</b>	<b>Negro de Carbono (%)</b>	<b>Metal (%)</b>	<b>Aditivos (%)</b>	<b>Azufre (%)</b>
Vehículos livianos	<b>43</b>	28	<b>13</b>	14	1,5
Vehículos Pesados	<b>45</b>	20	<b>25</b>	10	1-2

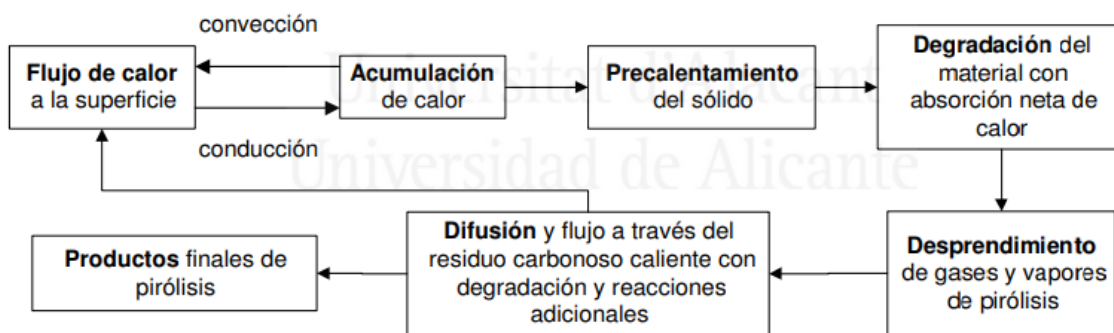
*Nota: En esta tabla se encuentra la composición típica de neumáticos de vehículos ligeros y pesados, información obtenida de (Formela, 2021)*

### ***La Pirólisis del Neumático***

La pirólisis es un proceso térmico que consiste en la descomposición física-química de la materia orgánica por la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante, es decir en condiciones anaerobias, se requiere de un reactor, donde los productos finales son gases, líquidos y un residuo carbonoso, cuyas cantidades dependen del material a tratar y su comportamiento frente a los diversos fenómenos que intervienen en un proceso de pirólisis (Sáez, 2008).

## Gráfico 1

*Fenómenos que intervienen en el proceso de pirólisis*



*Nota.* En esta imagen se observa el flujo de los diversos mecanismos que intervienen en el proceso de pirólisis, imagen obtenida de (Sáez, 2008).

Los neumáticos, debido a su alto contenido de carbono volátil y a su elevado poder calorífico (aproximadamente 3.335 MJ/kg), constituyen una materia prima idónea para procesos de recuperación energética. En estos procesos, la materia orgánica volátil presente en los neumáticos (alrededor del 60 % en peso) se descompone térmicamente en compuestos de bajo peso molecular, principalmente líquidos y gases, los cuales pueden aprovecharse como combustibles alternativos o como fuentes de productos químicos de valor agregado. Por otro lado, la fracción no volátil, compuesta por negro de humo y componentes inorgánicos (cerca del 40 % en peso), permanece como residuo sólido tras el proceso y puede ser reciclada o reutilizada en diversas aplicaciones industriales, como en la fabricación de materiales de construcción o en la industria del caucho (Haydary et al., 2006).

### ***Economía circular inclusiva***

Un plan de gestión de residuos debe incorporar proyectos basados en economías circulares inclusivas, los cuales promueven, la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos, reciclándolos o dándoles una nueva vida. Este enfoque fomenta la producción y consumo responsable, tanto en el ámbito social como ambiental revalorizando los residuos, priorizando la prevención en la generación de desechos y el aprovechamiento eficiente de los recursos.

La economía circular incide de manera directa en el mercado productivo, impulsando la inversión en infraestructuras sostenibles que promuevan la innovación tecnológica, la competitividad industrial y la transición hacia modelos de desarrollo más sostenibles. De esta forma, los proyectos de economía circular contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al integrar criterios de eficiencia, equidad e inclusión social dentro de los sistemas de producción (Cabanilla Galo, 2023).

### ***Proyecto de Inversión***

Un proyecto de inversión es una propuesta técnica, económica, legal y ambiental que se elabora como solución a un problema social, para ello se utiliza recursos tecnológicos, materiales y humanos con el fin de crear un documento escrito compilando los estudios que justifican la propuesta y permiten a los inversionistas conocer la viabilidad de la materialización del proyecto (Vásquez, 2017).

### ***Estudio Prefactibilidad***

Un estudio de prefactibilidad es la etapa en la cual se analizan a detalle que aspectos inciden en la factibilidad y rentabilidad del proyecto, se analizan distintas alternativas de mercado, tamaño, localización, financiamiento, sistemas de organización, tecnología y procesos productivos del proyecto tomando en cuenta criterios sociales, institucionales, legislativos y como se proyectarán en el tiempo. Se termina con la selección de una alternativa viable desde el punto de vista técnico y económico (Cevallos et al., 2022).

### ***Estudio de Factibilidad***

El estudio de factibilidad analiza una sola alternativa del informe de prefactibilidad para cuantificar los costos y beneficios con un grado de exactitud mayor al 75%, la alternativa escogida debe demostrar que es factible técnica y financieramente para la materialización del proyecto (Cevallos et al., 2022).

### ***Mercado***

El concepto de mercado de manera general se entiende como un medio para realizar un intercambio entre, comprador y vendedor, que les permita fijar un precio para un bien o servicio donde se beneficien ambas partes (Vásquez, 2017).

### ***Estudio de Mercado***

Los estudios de mercado tienen como intención básica determinar la demanda insatisfecha al comparar la demanda frente a la oferta de un producto o servicio, identifica el mejor producto a fabricar o servicio a ofrecer, el área de mercado donde vender, la demanda y oferta, estrategias y sistemas de comercialización, demanda insatisfecha y análisis de precios (Cevallos et al., 2022).

### ***Demanda***

Es la cantidad de productos o servicios que el cliente solicita al ofertante para el funcionamiento de su empresa, el tamaño de la demanda es un proceso en cadena ya que este es determinado por los clientes de la empresa (Córdoba, 2011).

### ***El cliente industrial***

Se considera cliente o consumidor industrial a las empresas que necesitan como materia prima el producto de otra empresa, para integrarlo en su proceso de producción para una transformación y su demanda de materia es una consecuente de la demanda de su producto final, por lo que se puede decir que su demanda no es decisión de ellos si no del mercado (Vásquez, 2017).



## ***Oferta***

La oferta es una proyección real de la cantidad de productos o servicios que una empresa puede colocar en el mercado, siempre se busca que la empresa tenga las condiciones de satisfacer la demanda, esto no depende simplemente del ofertante existe una serie de factores limitantes como el precio del producto del mercado o políticas de producción de la zona donde se desarrolla la empresa (Córdoba, 2011).

## ***Estudio técnico***

Es la continuación en el análisis de la factibilidad de un proyecto si el estudio de mercado arroja resultados de una demanda considerable para crear un producto o servicio, el estudio técnico determina el capital y la mano de obra necesaria para la materialización del proyecto, se busca responder las interrogantes; ¿Cuándo se hará?, ¿Dónde?, ¿Cómo? y ¿Con qué? (Córdoba, 2011).

## ***Ingeniería del proyecto***

La ingeniería del proyecto tiene como fin determinar que instalaciones que construirán, los servicios, maquinaria, equipos y la tecnología que se utilizara y que garantice una mayor eficiencia de producción, además debe garantizar las instalaciones para el almacenamiento y distribución del proyecto, es por ello que la ingeniería del proyecto es el alma del proyecto de inversión se encarga del funcionamiento del proyecto los demás estudios tienen influencia directa de la ingeniería del proyecto (Córdoba, 2011).

## ***Estudio de impacto ambiental***

El estudio de impacto ambiental es una herramienta de advertencia temprana que verifica el cumplimiento de las políticas ambientales, la EIA es previa se debe aplicar en etapas de estudios de prefactibilidad o diseño de proyectos de inversión, pierde sentido cuando se aplica a obras y actividades en operación, ya que su objetivo es evaluar el impacto negativo o positivos de la operación de un proyecto y proponer las medidas para ajustarlos a niveles de aceptabilidad (Espinoza, 2007)

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos con el propósito de evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de una planta de pirólisis destinada a la conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en combustible líquido en la ciudad de Riobamba, Ecuador.

La metodología se estructura en tres componentes: el análisis técnico, el análisis económico y la validación ambiental. Este diseño metodológico permite abordar los objetivos del proyecto de manera integral, integrando información técnica, financiera y ambiental que respalde la viabilidad y sostenibilidad de la planta dentro del contexto local.

### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo descriptivo, ya que tiene como objetivo analizar y detallar la factibilidad económico-financiera de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en combustibles líquidos, considerando además los impactos ambientales asociados a su operación. Estos aspectos resultan fundamentales para evaluar la viabilidad de la inversión y para sustentar la validación ambiental del proyecto.

El propósito principal de esta investigación es demostrar que la implementación de una planta de este tipo constituye una alternativa ambientalmente favorable, al promover la valorización de neumáticos recuperados, transformándolos en fuentes energéticas aprovechables. Al mismo tiempo, se busca evidenciar que el proyecto es económicamente rentable a lo largo del tiempo, garantizando una inversión sostenible y segura.

### **3.3 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio se desarrolló en el área urbana del cantón Riobamba donde se analizó la ubicación, factibilidad e impactos de una planta de producción de combustibles líquidos en base a NFU's. El cantón cuenta con un área de 998,78  $km^2$  en donde se encuentra asentada la mayor

población de la provincia con 264.048 habitantes con una alta densidad demográfica de 266,72 *hab/km<sup>2</sup>* (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo, 2019).

La ciudad se sitúa en la región sierra central a una altura de 2.754 metros sobre el nivel del mar, a los 1° 41' 46" latitud Sur; 0° 3' 36" longitud oeste, su temperatura promedio es 13 °C por lo que su clima es frío-templado, presenta límites cantonales y provinciales descritos en la Tabla 2 y se puede observar cómo se encuentran distribuidos en la Figura 2.

**Tabla 2**

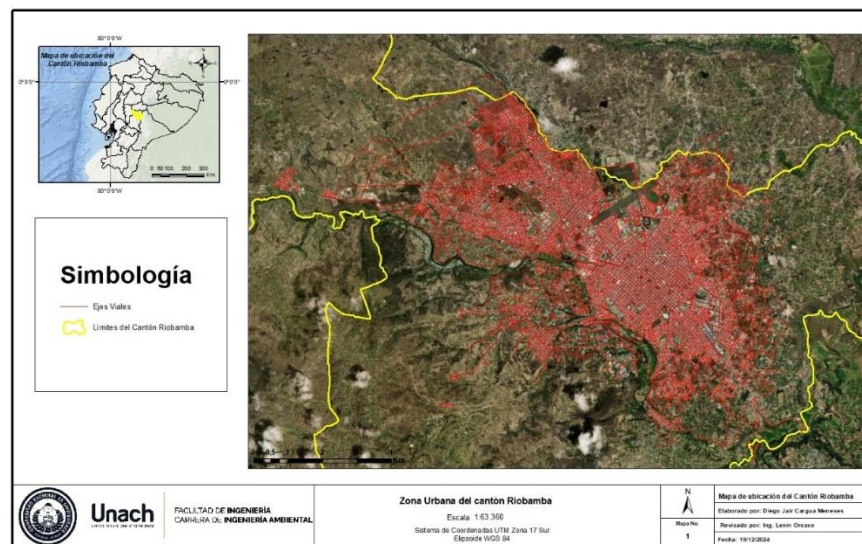
*Límites del cantón Riobamba*

Dirección	Límites Cantonales y Provinciales
Norte	Guano, Penipe
Sur	Colta, Guamote
Este	Chambo, Morona Santiago
Oeste	Bolívar, Tungurahua

*Nota. En esta tabla se encuentran descrito los límites cantonales y provinciales del cantón Riobamba para cada punto cardenal.*

**Figura 2**

*Ubicación geográfica del cantón Riobamba*



*Nota. Ubicación del cantón Riobamba dentro de la provincia de Chimborazo y su zona urbana delimitada a través de sus ejes viales.*

### 3.4 ESTIMACIÓN DE NFU'S

Según la Dirección de Gestión de Movilidad, tránsito y transporte de la ciudad de Riobamba se tiene conocimiento que para el mes de diciembre del 2022 se registró en promedio 35.000 automotores (InfoRio, 2022), para diciembre del 2024 el aproximado de vehículos matriculados es de 65.000.

**Tabla 3**

*Total de neumáticos en la ciudad de Riobamba*

<b>Año</b>	<b>Vehículos Matriculados</b>	<b>Neumáticos por vehículo</b>	<b>Total de neumáticos</b>
2022	35.000	4	140.000
2024	65.000	4	260.000

*Nota.* En esta tabla se encuentran descrito los vehículos matriculados para los años 2022 y 2024 y la estimación de total neumáticos para cada año.

Para la estimación de NFU's real se tomará en cuenta las importadoras de neumáticos de la ciudad los cuales según el acuerdo ministerial MAATE-2022-131, Art.17 se dispone que todo productor de neumáticos debe presentar un Plan de Gestión Integral de neumáticos fuera de uso (MAATE, 2022).

**Tabla 4**

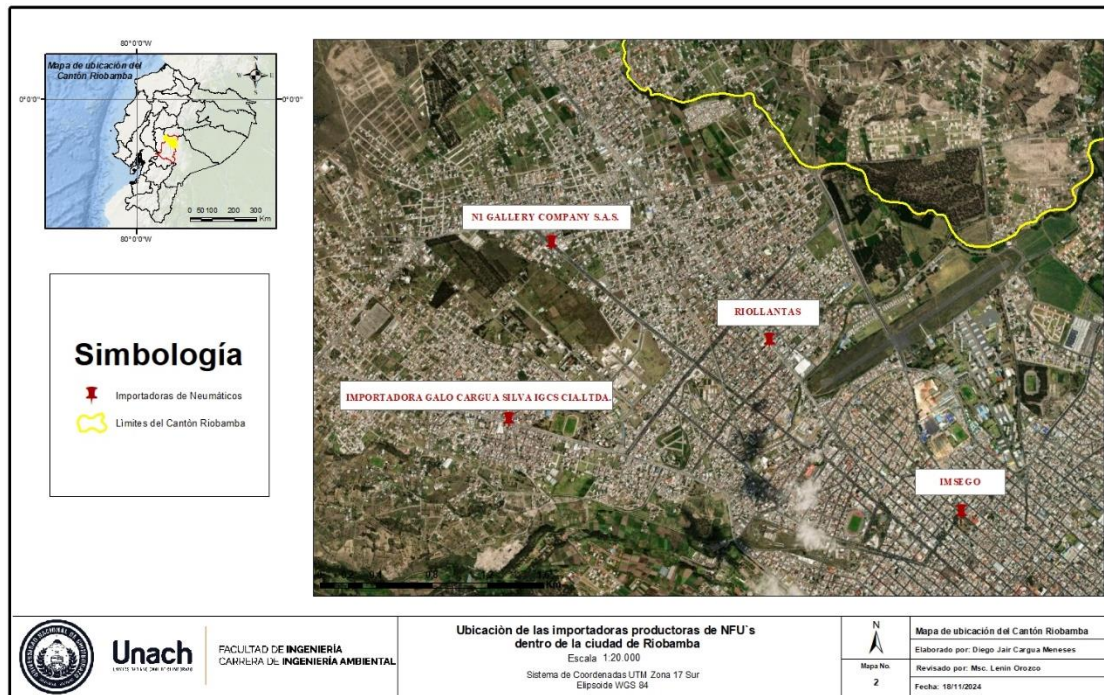
*Listado de productores de NFU's en la ciudad de Riobamba para el año 2025*

<b>Nro.</b>	<b>Productor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	IGCS CIA.LTDA	757825,13	9816045,01
2	GALLERY COMPANY S.A.S	758131,63	9817673,49
3	RioLlanta	759694,88	9816975,84
4	IMSEGO	761069,36	9815742,97

*Nota.* En esta tabla se encuentran descrito las importadoras registradas como productores de NFU's en el MAATE en la ciudad de Riobamba.

**Figura 3**

*Ubicación geográfica de las Importadoras de Neumáticos en la ciudad de Riobamba*



*Nota.* En esta imagen se encuentran las importadoras de la ciudad de Riobamba y ver su dispersión dentro de zona urbana.

El cálculo del volumen disponible de neumáticos por años se realizó analizando la composición de los NFU's descritos en la tabla 1 y el peso promedio para los distintos tamaños según el rin, descritos en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Peso promedio de los neumáticos según su rin*

<b>Tipo de neumático</b>	<b>Rines</b>	<b>Peso promedio (kg)</b>
Vehículo liviano	R12 – R17	8,5
Vehículo Pesado	R20 – R24	65

*Nota. En esta tabla se encuentran descrito el peso promedio de los neumáticos dependiendo de su rin, información descrita por la Asociación Europea de fabricantes de neumáticos y caucho (ETRMA)*

### **3.5 DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL**

#### **3.5.1 Identificación del producto o servicio**

En esta sección se describen las propiedades de los combustibles obtenidos a partir del proceso de pirólisis, como parte del estudio de factibilidad orientado a determinar las características del producto y su comparación con combustibles disponibles en el mercado (Cevallos et al., 2022).

Para ello, se realizó una caracterización del combustible pirolítico, identificando sus propiedades físicas y químicas mediante un análisis bibliográfico de investigaciones previas en las que diversos autores han estudiado combustibles obtenidos por procesos similares, especialmente desde el enfoque químico, con el fin de describir de manera detallada el producto generado.

**Tabla 6**

*Parámetros para evaluar del nuevo combustible*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
Densidad	g/cm <sup>3</sup>
Gravedad API	-
Viscosidad	Centipoise
Punto de inflamación	°C
Punto de congelación	°C

Número de cetano	-
Temperatura de destilación del 90%	°C
Porcentaje de Queroseno	%

*Nota. En esta tabla se encuentran descrito los parámetros necesarios para la caracterización de un combustible resultado de un proceso de pirólisis.*

### **3.5.2 Mercado Meta**

Para la identificación del mercado meta, se analizaron las empresas que emplean combustibles poco refinados, como el diésel o fuel oíl, en sus procesos productivos. El objetivo fue determinar dónde el combustible derivado del pirólisis de neumáticos fuera de uso (NFU) podría incorporarse de manera efectiva, ya sea como sustituto directo o como aditivo que complemente los combustibles tradicionales.

Este análisis permite establecer estrategias de comercialización y posicionamiento, considerando factores como compatibilidad del combustible pirolítico con los equipos existentes, costos operativos, beneficios ambientales y aceptación por parte de los usuarios finales. De esta manera, se identifica un segmento de mercado potencial que maximiza la viabilidad económica del proyecto, al mismo tiempo que contribuye a la reducción de residuos y al aprovechamiento energético de los NFU, promoviendo la sostenibilidad industrial y la economía circular.

### **3.5.3 Segmentación del Mercado**

Del conjunto de empresas que utilizan combustibles en sus procesos productivos, se seleccionaron tres clientes industriales potenciales, considerando su representatividad dentro de la provincia. Estas empresas fueron elegidas también por su interés en la implementación de prácticas ambientales, específicamente en la reducción del consumo de combustibles fósiles y en la búsqueda de alternativas más sostenibles para sus procesos productivos.

Esta selección permite enfocar el estudio de factibilidad en casos concretos, evaluando tanto la compatibilidad técnica del combustible pirolítico con los sistemas existentes como la aceptación del mercado, lo que aporta información relevante para el análisis económico y la estrategia de implementación del proyecto.



**Tabla 7**

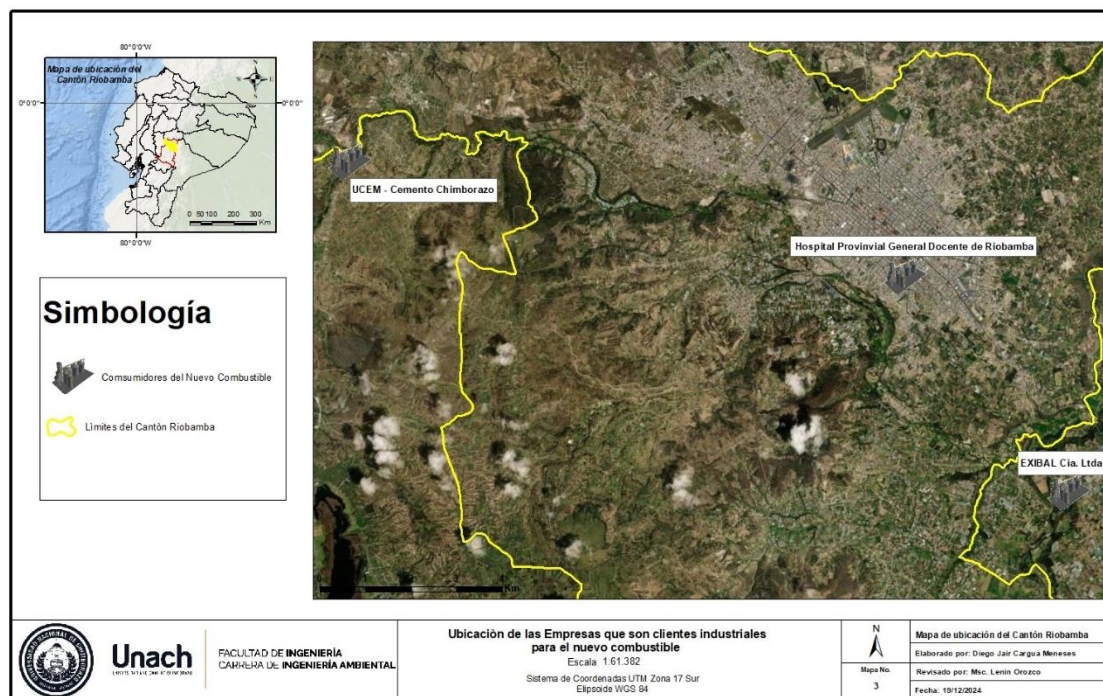
*Listado de clientes potenciales para el nuevo combustible*

Nro.	Productor	X	Y
1	EXIBAL Cia. Ltda.	765751,37	9809208,09
2	UCEM – Cemento Chimborazo	749927,21	9816456,16
3	Hospital provincial general docente de Riobamba	762137,01	9813946,25

*Nota. En esta tabla se encuentran descrito las coordenadas geográficas y el nombre de los clientes potenciales al nuevo combustible*

**Figura 4**

*Ubicación geográfica de las empresas consumidoras para el nuevo combustible*



*Nota. En esta imagen se encuentran los clientes del nuevo combustible y ver su dispersión dentro de la ciudad.*



### 3.5.4 Estimación del Precio

Para el análisis y fijación de precios, se realizó un análisis comparativo con la empresa considerada como competencia directa, la recicladora SEGINUS, la cual opera en conjunto con dos de las principales importadoras de neumáticos de la ciudad. Para la adquisición de neumáticos, SEGINUS utiliza el Ecovalor, regulado por el Código Orgánico del Ambiente en su Artículo 663, que establece lo siguiente:

*"Gestión integral de residuos o desechos.- La gestión integral de residuos o desechos originados a partir del uso o consumo de productos sujetos a responsabilidad extendida del productor, constituye el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, técnicas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de proporcionar a los residuos o desechos, el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, posibilidades de aprovechamiento, entre otros".*

En términos prácticos, el Ecovalor representa el aporte económico que todo productor de NFU debe pagar para garantizar que estos residuos reciban un tratamiento adecuado. Los precios de Ecovalor con los que opera SEGINUS se presentan en la Tabla 8. A partir de esta información, se establecerá una relación para determinar el precio de compra de los NFU, sirviendo como base para fijar la estrategia de adquisición y asegurar la competitividad del proyecto.

**Tabla 8**

*Ecovalor para cada tipo de neumático*

<b>Tipo de Neumático</b>	<b>Ecovalor (\$)</b>
Liviano	1
Pesado	1
Moto	0,50
Bicicleta	0,25

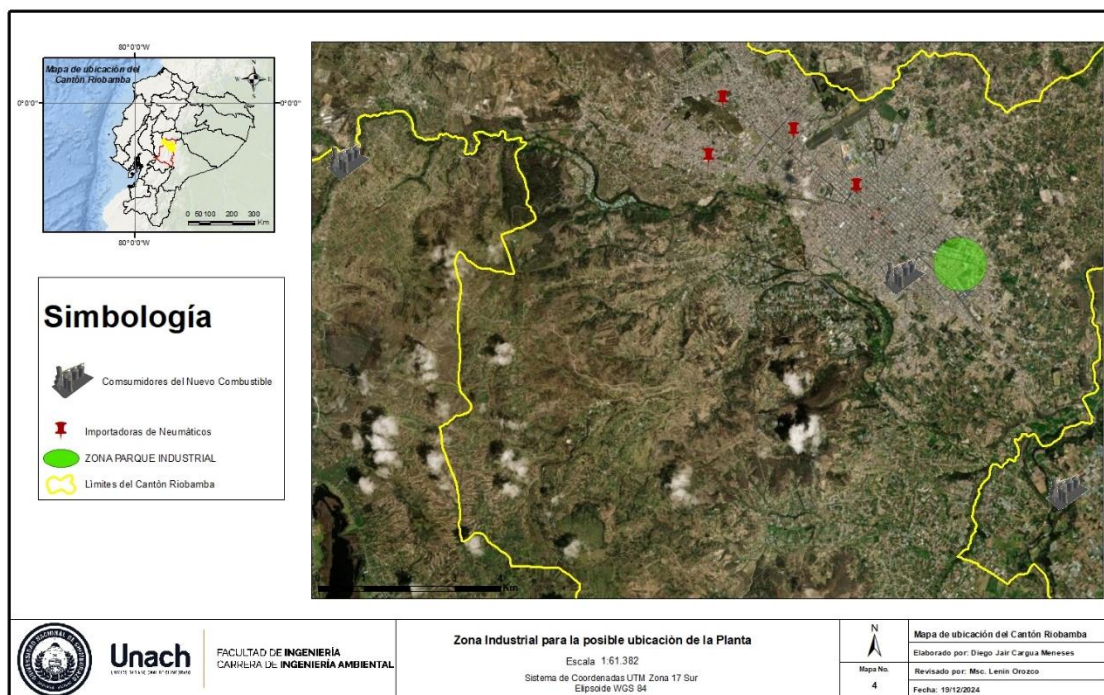
*Nota. En esta tabla se encuentran descrito el valor que se necesita por tipo de neumáticos para su correcta gestión.*

### 3.5.5 Localización de la planta

La planta de producción de combustibles a partir de neumáticos fuera de uso (NFU) se ubicará en la ciudad de Riobamba, dentro del área designada como parque industrial. Para determinar la ubicación exacta, se llevará a cabo un proceso de selección de galpones o espacios cubiertos existentes en el parque, considerando criterios como la superficie disponible, la existencia de instalaciones básicas y la facilidad de acceso para transporte de materia prima y distribución del producto final.

**Figura 5**

*Ubicación geográfica del área declarada como Parque Industrial*



*Nota.* En esta imagen se encuentran en color verde el área de parque industrial, donde se logra visualizar su posición geográfica a comparación de las Importadoras de neumáticos y las empresas consumidoras de combustibles.

### **3.5.6 Identificación de la Oferta**

Para determinar la oferta de combustible como producto principal y el acero reciclado como producto secundario se realizó a través de una proyección para 5 años y los neumáticos que teóricamente se producen, para a través de los porcentajes de eficiencia de la planta.

### **3.5.7 Análisis de la capacidad de la planta**

Este estudio nos permitió conocer si la proyección de producción de combustible para un período de 5 años va ser posible conociendo la capacidad de producción de la planta, según su ficha técnica, en otras palabras, si la maquinaria va alcanzar la proyección de la oferta o se deberá forzar la maquinaria (Vásquez, 2017).

### **3.5.8 Determinación de Ingresos**

Para determinar los ingresos de la planta de producción de combustibles, se trabajó con las proyecciones de oferta para cada producto, multiplicado por el precio que se determinó al comienzo del estudio, luego se sumó el resultado de cada producto dentro de los 5 años para obtener los ingresos de la planta.

## **3.6 ESTUDIO TÉCNICO - FINANCIERO**

### **3.6.1 Ingeniería del proyecto**

El desarrollo de la ingeniería del proyecto es el estudio donde se analizó los requerimientos para el funcionamiento de la planta de producción de combustibles a partir de NFU's, para este estudio se realizó las siguientes operaciones:

- Determinación de los gastos de construcción.
- Organigrama del proceso administrativo
- Flujograma del proceso productivo
- Flujograma de la planta de pirólisis
- Descripción de los procesos de producción
- Descripción de los activos fijos
- Descripción de activos diferidos e intangibles

- Descripción de Costos de mano de obra
- Descripción de Gastos operacionales
- Descripción de Inversión total
- Descripción de la proyección de egresos
- Descripción de la proyección de ingresos
- Estudio de financiamiento
- Balance financiero de la empresa

### **3.7 EVALUACIÓN FINANCIERA**

La evaluación financiera de proyectos empresariales es un aspecto fundamental en la formulación y desarrollo de proyectos de inversión, es la continuación de las etapas de estudio preliminares(Ortíz & Soto, 2018), para esta evaluación se presenta los diferentes volúmenes tanto de costos como ventas y se obtuvo como resultado los flujos netos de caja correspondiente a los 5 años de proyección, para así llegar a la etapa de los criterios de evaluación.

#### **3.7.1 Flujos netos de Caja**

Los flujos netos de caja se obtuvieron a partir del estado de resultados previstos, específicamente de las utilidades proyectadas, analizando, el movimiento de fondos de las operaciones del proyecto a lo largo de su horizonte temporal (Ortiz & Soto, 2018).

#### **3.7.2 Criterios de evaluación**

Es la información que poseen las empresas para evaluar la decisión de invertir en proyectos de inversión, esto con el propósito de que se tomen decisiones acertadas en el manejo de recursos (Ortíz & Soto, 2025), la evaluación se utilizó para juzgar el proyecto desde la rentabilidad y dar una garantía a la inversión del proyecto, se calcularon los siguientes criterios una vez definido el mercado y la demanda actual;

- Valor Actual Neto (VAN).
- Relación Beneficio - Costo (B/C).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Período Real de Recuperación de la Inversión (PRR).

Se analizo cada criterio según dicta la formula y la interpretación del valor obtenido:

**VAN.** es la técnica que se utilizó para tomar decisiones de inversión en activos fijos. El Valor Actual Neto se define como: la diferencia entre el valor actual de los flujos netos de efectivo de un proyecto y la inversión neta (Ortiz & Soto, 2018). Ecuación 3:

$$VAN = \sum \text{Valor Actual de los flujos Netos de Caja} - \text{Inversión} \quad (\text{Ec } 3)$$

Para la interpretación del VAN se analizó los tres posibles resultados:

- Si el VAN es mayor que 0 se acepta el proyecto, de lo contrario se rechaza. Si el VAN es mayor a 0 la empresa obtendría un rendimiento mayor que el costo de oportunidad del capital y por lo tanto conviene ejecutar el proyecto.
- Si el VAN es igual a cero, el inversionista estará indiferente entre invertir en el proyecto o en cualquier alternativa. La decisión de inversión se producirá por razones diferentes a la rentabilidad del proyecto.
- Si el VAN es menor que cero es decir negativo, el proyecto no es viable porque no permite recuperar la inversión en términos de valor actual.

**R B/C.** Este método no difiere mucho del VAN ya que se utilizó los mismos flujos descontados, tanto de las entradas como de las salidas de caja. La diferencia está en que la sumatoria de las entradas a caja actualizadas se divide entre la inversión (Ortiz & Soto, 2018), como se observa en la ecuación 4.

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Valor actual de los FNC}}{\text{Inversión}} \quad (\text{Ec } 4)$$

Si la razón B/C es mayor que 1, aceptar el proyecto en caso contrario se rechaza. Si la razón B/C es mayor que 1 significa que el VAN es positivo.

**TIR.** Se analizó como el valor presente de los flujos de caja que genera que el proyecto sea igual a la inversión realizada (Ortiz & Soto, 2018) a.

Para su cálculo se utilizó las funciones del Excel, para ello se necesitó de los FNC desde la inversión y para cada año de vida útil, con la función TIR, el programa Excel ingresa los datos y nos otorga un valor de TIR.

**PRI.** El Período de recuperación real de una inversión es el tiempo que tarda exactamente en ser recuperada la inversión inicial en base a los flujos netos de caja que genere en cada periodo de su vida útil (Ortiz & Soto, 2018). Se calcula según la ecuación 5:

$$PRI = \frac{IT - FAMI}{FAS} + AT \quad (Ec\ 5)$$

Donde:

IT = Inversión Inicial

FAMI = Flujo acumulado menor a la inversión

FAS = Flujo del año siguiente al flujo acumulado seguido

AT = Años transcurridos

Las mejores inversiones son aquellas que tienen el menor plazo real de recuperación. Este es un criterio de liquidez antes que de rentabilidad.

### **3.8 ESTUDIO DE VALIDACIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO**

#### **3.8.1 Identificación los impactos ambientales**

En la fase inicial de identificación de impactos ambientales se eligió cuáles son los elementos del ambiente que podrían ser afectados por la planta.

#### **3.8.2 Desarrollo de validación ambiental**

El objetivo de la validación ambiental es demostrar que el proyecto no representa una amenaza significativa para el ambiente. Este estudio se realiza de manera preventiva, dentro de las fases de prefactibilidad y factibilidad (Espinoza, 2007). Por ende, la validación se desarrolló en dos etapas. La primera consiste en la identificación de factores ambientales, a través de un banco de preguntas (Anexo 1) que permitió obtener una perspectiva clara sobre los factores y actividades del proyecto que interactúan con el ambiente. La metodología utilizada se encuentra descrita en el libro “Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental”.

La segunda consiste en la evaluación de impactos ambientales: Una vez identificados los impactos, se procedió a realizar una tipología de los mismos utilizando la matriz Conesa–Vítora, en la cual las filas representan los factores ambientales y las columnas las actividades del proyecto. Esta matriz permite realizar una valoración de los impactos a través de 11 criterios, facilitando un análisis sistemático y cuantitativo de la interacción entre las actividades del proyecto y el entorno ambiental.

### **3.8.3 Criterios de evaluación de la matriz Conesa**

La matriz Conesa que se utilizó es la del método simplificado que consta de 11 criterios que permitieron analizar la tipología del impacto:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \text{ (Ec 6)}$$

Donde:

$\pm$  = *Naturaleza del impacto.*

El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

*i = Intensidad o grado probable de destrucción*

Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa.

*EX = Extensión o área de influencia del impacto*

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

**Tabla 9***Valorización de la Extensión*

<b>Extensión (EX)</b>	<b>Valor</b>
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8
Crítica	12

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe cada tipo de extensión para el impacto, (Conesa, 2011).

***MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto***

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

**Tabla 10***Valorización del Momento*

<b>Momento (MO)</b>	<b>Valor</b>
Largo plazo	1
Medio plazo	2
Inmediato	4
Critico	8

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el momento del impacto, (Conesa, 2011).

***PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto***

Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.



**Tabla 11***Valorización de la Persistencia*

<b>Persistencia (PE)</b>	<b>Valor</b>
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según la persistencia del impacto, (Conesa, 2011).

***RV = Reversibilidad***

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

**Tabla 12***Valorización de la Reversibilidad*

<b>Reversibilidad (RV)</b>	<b>Valor</b>
Corto plazo	1
Medio plazo	2
Irreversible	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico para el facto de reversibilidad del impacto, según el tiempo de recuperación, (Conesa, 2011).

***SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples***

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

**Tabla 13***Valorización de la Sinergia*

<b>Sinergia (SI)</b>	<b>Valor</b>
Sin sinergismo	1
Sinérgico	2
Muy sinérgico	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe cada tipo de extensión para el impacto, (Conesa, 2011).

***AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo***

Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

**Tabla 14***Valorización de la Acumulación*

<b>Acumulación (AC)</b>	<b>Valor</b>
Simple	1
Acumulativo	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el factor de acumulación del impacto, (Conesa, 2011).

***EF = Efecto ya sea de tipo directo o indirecto***

Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

**Tabla 15***Valorización del Efecto*

<b>Efecto (EF)</b>	<b>Valor</b>
Indirecto	1
Directo	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe dependiendo el actuar del impacto (Conesa, 2011).

***PR = Periodicidad***

La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible en el tiempo o constante en el tiempo.

**Tabla 16**

*Valorización de la Periodicidad*

<b>Periodicidad (PR)</b>	<b>Valor</b>
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según la frecuencia de la actividad que genera el impacto (Conesa, 2011).

***MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos***

La posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.

**Tabla 17**

*Valorización de la Recuperabilidad*

<b>Recuperabilidad (MC)</b>	<b>Valor</b>
Recuperación Inmediata	1
Recuperable	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8

*Nota.* En la tabla se encuentra el valor numérico que recibe según el nivel de factibilidad de recuperación el componente afectado, (Conesa, 2011).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA (NFU`S)

El análisis de materia prima se realizó a partir de la información sobre vehículos matriculados en la ciudad, tabla 2, a través de una proyección datos:

$$b = \frac{Y_f - Y_o}{X_f - X_o} \quad (Ec\ 7)$$

$$b = \frac{65.000 - 35.000}{2024 - 2022}$$

$$b = 15.000$$

Una vez calculada la pendiente se puede aplicar la fórmula para la proyección lineal:

$$y = mx + b$$

Donde m es el valor de vehículos matriculados para el año 2022 = 35.000.

La siguiente parte fundamental es el factor reencauche en el país existen 9 empresas reencauchadoras registradas y certificadas (Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca, 2025), para que la proyección de materia prima sea confiable se utilizara el peor de los episodios que es el descarte del 40% de neumáticos que no cumplen con las características para reencauche.

**Tabla 18**

*Estimación de la materia prima en una proyección de 5 años*

<b>Año</b>	<b>Proyección (# de vehículos)</b>	<b># de neumáticos por vehículo</b>	<b>Proyección teórica de neumáticos (# de NFU`s/año)</b>	<b>Porcentaje no aceptado para reencauchado (%)</b>	<b>Proyección realista de neumáticos (# de NFU`s/año)</b>
<b>2024</b>	65.000	4	260.000	40	<b>104.000</b>
<b>2025</b>	80.000	4	320.000	40	<b>128.000</b>
<b>2026</b>	95.000	4	380.000	40	<b>152.000</b>
<b>2027</b>	110.000	4	440.000	40	<b>176.000</b>
<b>2028</b>	125.000	4	500.000	40	<b>200.000</b>

*Nota.* En la tabla se encuentra la proyección de generación de neumáticos para 5 años.

Para la producción de combustibles de combustible a partir del pirólisis de NFU's, se debe realizar un proceso donde se separa el metal del caucho ya que este es el que entra al reactor para la transformación, por lo que, se determinó la cantidad de caucho que existe para cada año con los datos sobre la composición de los neumáticos de la tabla 1.

**Tabla 19**

*Estimación de la cantidad de caucho y acero reciclado*

<b>Año</b>	<b>Proyección (# de neumáticos)</b>	<b>Peso promedio de un NFU (T)</b>	<b>% de Caucho * NFU's</b>	<b>% de Metal * NFU's</b>	<b>Peso total de los NFU's (T)</b>	<b>Peso total de Caucho (T)</b>	<b>Peso total de metal (T)</b>
<b>2024</b>	104.000	0,0185	0,44	0,19	1.924	<b>846,56</b>	<b>365,56</b>
<b>2025</b>	128.000	0,0185	0,44	0,19	2.368	<b>1.041,92</b>	<b>449,92</b>
<b>2026</b>	152.000	0,0185	0,44	0,19	2.812	<b>1.237,28</b>	<b>534,28</b>
<b>2027</b>	176.000	0,0185	0,44	0,19	3.256	<b>1.432,64</b>	<b>618,64</b>
<b>2028</b>	200.000	0,0185	0,44	0,19	3.700	<b>1.628</b>	<b>703</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentra calculado la cantidad de caucho y metal total que se obtiene por año, en un periodo de 5 años, el peso promedio de NFU's se realizó tomando en cuenta los 8,5 kg de peso para neumáticos de vehículos livianos debido y un 15% del peso de neumáticos de vehículos pesados, debido a que estos son los más requeridos para reencauche y su porcentaje de rechazo es menor.

## **4.2 ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL**

### **4.2.1 Caracterización del producto final**

Para la descripción del combustible que es el producto principal, se realizó una comparación de varios autores sobre los parámetros establecidos en la tabla 5, se analizó 2 estudios específicos sobre las características fisicoquímicas del combustible.

**Tabla 20**

*Estudios sobre las características fisicoquímicas del combustible*

<b>Código</b>	<b>Autores</b>	<b>Título</b>
EC01	Idoia Hita, Miriam Arabiourrutia, Martin Olazar, Javier Bilbao, José María Arandes, Pedro Castaño Sánchez	Oportunidades y barreras para producir combustibles de alta calidad a partir de la pirólisis de neumáticos usados.
EC02	Myriam Mancheno, Pablo Arévalo, Jhison Romero, Inés Malo, Damian Matute, Ricardo Ramos	Análisis fisicoquímico de combustibles líquidos obtenidos en el proceso de pirólisis de caucho vulcanizado.

*Nota.* En esta tabla se muestran los autores y títulos sobre los estudios de caso donde se caracteriza el nuevo combustible.

**Tabla 21**

*Características del combustible a partir de la pirólisis de NFU's.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor para EC01</b>	<b>Valor para EC02</b>	<b>Valor para el diésel tradicional</b>	<b>Valor para el fuel oil</b>
<b>Densidad</b>	$g/cm^3$	0,88	0,894	0,815	0,890
<b>Gravedad API</b>	-	23,87	-	-	-
<b>Viscosidad</b>	Centipoise	1,11	6,30	2,80	2,10
<b>Punto de Inflamación</b>	°C	20,5	20	51	79
<b>Punto de Congelación</b>	°C	39,3	-	-	-15
<b>Número de Cetano</b>	-	46,7	-	53	-
<b>Porcentaje de Queroseno</b>	%	45,4	-	-	-
<b>Poder Calorífico</b>	$\frac{MJ}{kg}$	-	42,7	43,1	44,8

*Nota.* En esta tabla se muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos del combustible de NFU's y también del diésel estos datos son de la norma técnica NTE INEN 1489:2021, los valores del fuel oil son de la norma NTE INEN 1983 y sus enmiendas.

### 4.2.2 Segmentación del Mercado

la selección de empresas que son considerados clientes industriales para el combustible del pirólisis de NFU's, se realizó conociendo y analizando sus procesos productivos junto a sus equipos y la cantidad de combustible tradicional que utilizan en sus procesos y si puede ser sustituido por el nuevo combustible.

**Tabla 22**

*Determinación de la demanda de combustibles por parte de los clientes industriales*

<b>Empresa</b>	<b>Proceso</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad de Combustible (gal/año)</b>
<b>EXIBAL Cia. Ltda.</b>	Producción de Balanceado	Caldero	<b>144.000,00</b>
<b>UCEM – Cemento Chimborazo</b>	Producción de Clinker	Hornos rotativos cementeros	<b>11.388.000,00</b>
<b>Hospital provincial general docente de Riobamba</b>	Limpieza y esterilización	Caldera	<b>153.219,79</b>

*Nota.* En esta tabla se muestran los clientes industriales para la planta y cuál es la cantidad de combustibles en (gal/año).

### 4.2.3 Precio de la materia prima para la extracción combustible y del acero reciclado de la transformación de NFU's a combustibles

El precio se determinó analizando la competencia directa, para nuestro caso es la empresa SEGINUS que es la gestora que se encarga de la gestión integral de neumáticos usados de las empresas RIOLLANTA e IMSEGO, para la gestión de NFU's por parte de SEGINUS no compra neumáticos, los productores pagan (Tabla 7) para que estos reciban la gestión más eficiente desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

Para lograr adquirir la materia prima, se necesita hacer una propuesta económica de compra de lo NFU's a los productores, partiendo de la base de eco valor que ellos pagan.

$$Precio = \frac{Ecovalor}{Peso\ promedio\ de\ los\ neumáticos} \quad (Ec\ 8)$$

$$Precio = \frac{1\$}{18,5\ kg}$$

$$Precio = 0,054\ \frac{\$}{kg}$$

El precio que se oferta por kg de NFU's es de 0,054 \$, esto se realiza para poder ser competitivo en el mercado de la obtención de la materia prima.

El acero reciclado es el subproducto de la planta, pero que también tiene un lugar en el mercado del país, el precio del acero reciclado esta normado por márgenes internacionales mermados por costos necesarios para su procesamiento.

**Tabla 23**

*Precio estándar del acero reciclado en el Ecuador*

Descripción	Precio por Tonelada (USD*T)
Precio Referencial por London Metal Exchange (LME)	398,50
(-) Costos Estiba (10%)	358,65
(-) Costos Transporte (20%)	318,80
(-) Costos de Oxicorte (10%)	358,65
<b>Precio Final</b>	<b>239,10</b>

*Nota.* En esta tabla se muestran los costos que se disminuyen del precio internacional para el acero reciclado, los porcentajes de costos son dispuestos por las autoridades ecuatorianas, pero no de superar el 40% (Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca, 2024).

#### **4.2.4 Localización de la planta**

La macro localización de la planta es la ciudad de Riobamba en la zona destinada como parque industrial, del cual se analizó cuáles son los espacios cubiertos, coliseos, galpones que se encuentran en desuso y son aptos para la adecuación de la planta, el espacio más adecuado es el coliseo donde antes funcionaba la empresa IMSA Estructuras metálicas.



El factor espacio es el principal al momento de tomar decisiones, la planta que se instalara es la planta de pirólisis de la empresa MINGJIE el modelo MJL-15 con capacidad de 15-16 T/día y con espacio de 400  $m^2$  necesario para su instalación, el coliseo de IMSA cuenta con 694  $m^2$  cubiertos y un terreno total 1.835  $m^2$  disponible para adecuar más infraestructura.

### Figura 6

*Imagen satelital de la infraestructura de la empresa IMSA estructuras metálicas*



*Nota.* En esta imagen se analiza el área de espacio cubierto y el área del terreno completo.

#### 4.2.5 Identificación de la Oferta

Para determinar la oferta que presenta la empresa con respecto a la demanda productos finales por parte de los demandantes, clientes industriales, fue necesario evaluar las posibilidades de producción de la planta a través de una proyección de la cantidad de materia prima con el porcentaje de conversión de la maquinaria.

**Tabla 24***Análisis de conversión de productos*

<b>Materia prima</b>	<b>Producto Final</b>
<b>Producción de Combustible</b>	
1 tonelada de caucho	133,57 galones de combustible
100 neumáticos de un vehículo liviano un promedio de 8,5 kg	49,95 galones de combustible
100 neumáticos de un vehículo pesado un promedio de 65 kg	382,01 galones de combustible

*Nota.* los valores de esta tabla son el resultado del análisis de la oferta, se pueden analizar como indicadores de producción para maquinarias que presenten un factor de conversión del 45% como el modelo MJL-15.

**Tabla 25***Determinación de la oferta de los productos de la planta*

<b>Año</b>	<b>Cantidad de neumáticos por año</b>	<b>Peso promedio por neumático (Tonelada)</b>	<b>Cantidad de caucho (44%) a procesar (T/año)</b>	<b>Porcentaje de conversión de combustible que logra la planta (%)</b>	<b>Cantidad de acero por neumático (%)</b>	<b>Cantidad de combustible a ofertar por año (Galones)</b>	<b>Acero a ofertar por año (Tonelada)</b>
2024	104.000	0,0185	846,56	0.45	0,19	<b>113.075,1</b>	<b>365,56</b>
2025	128.000	0,0185	1.041,9	0.45	0,19	<b>139.169,4</b>	<b>449,92</b>
2026	152.000	0,0185	1.237,3	0.45	0,19	<b>165.263,6</b>	<b>534,28</b>
2027	176.000	0,0185	1.432,6	0.45	0,19	<b>191.357,9</b>	<b>618,64</b>
2028	200.000	0,0185	1.628	0.45	0,19	<b>217.452,1</b>	<b>703</b>

*Nota.* la determinación de la oferta parte de una base donde se toma el peso de NFU's livianos más un 15% del peso de NFU's para vehículos pesados.

#### **4.2.6 Análisis de la capacidad de la planta**

El análisis de la planta se realizó partiendo de la base que se adquiere una planta prefabricada y su capacidad viene dispuesta por la ficha técnica de la planta.

**Tabla 26***Capacidad de la planta*

<b>Año</b>	<b>Capacidad de maquinaria T/día</b>	<b>Capacidad de maquinaria T/mes</b>	<b>Capacidad de maquinaria T/año</b>	<b>Cantidad de Materia prima a procesar en T/año</b>	<b>% de utilización de maquinaria anual</b>
2024	16	352	4.176	846,56	20,27
2025	16	352	4.176	1.041,92	24,95
2026	16	352	4.176	1.237,28	29,63
2027	16	352	4.176	1.432,64	34,31
2028	16	352	4.176	1.628	38,99

*Nota.* los resultados de la tabla permiten conocer si la maquinaria es la adecuada para la duración del proyecto para los primeros 5 años no supera el 50% de su capacidad de uso, garantizando la permanencia del proyecto pasado los primeros 5 años.

#### **4.2.7 Ingresos de la Planta**

**Tabla 27***Ingresos de la planta por la oferta de combustible*

<b>Año</b>	<b>Oferta (gal)</b>	<b>Precio (USD * gal)</b>	<b>Ingreso por año (USD)</b>
2024	113.075,114	1,85	<b>209.188,96</b>
2025	139.169,371	1,85	<b>257.463,34</b>
2026	165.263,629	1,85	<b>305.737,71</b>
2027	191.357,886	1,85	<b>354.012,09</b>
2028	217.452,143	1,85	<b>402.286,46</b>
<b>Total</b>	<b>826.318,143</b>		<b>1.528.688,56</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentran descrito los ingresos de la planta por producción de combustible para una proyección de 5 años.

**Tabla 28***Ingresos de la planta por la oferta de acero reciclado*

<b>Año</b>	<b>Oferta (Toneladas)</b>	<b>Precio (Tonelada * año)</b>	<b>Ingreso por año (\$)</b>
2024	365,56	239,10	<b>87.405,396</b>
2025	449,92	239,10	<b>107.575,872</b>
2026	534,28	239,10	<b>127.746,348</b>
2027	618,64	239,10	<b>147.916,824</b>
2028	703	239,10	<b>168.087,30</b>
<b>Total</b>	<b>2.671,4</b>		<b>638.731,74</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentran descrito los ingresos de la planta por recolección de acero reciclado para una proyección de 5 años.

### 4.3 ESTUDIO TÉCNICO

#### 4.3.1 Ingeniería del proyecto

**Tabla 29***Gastos de Construcción*

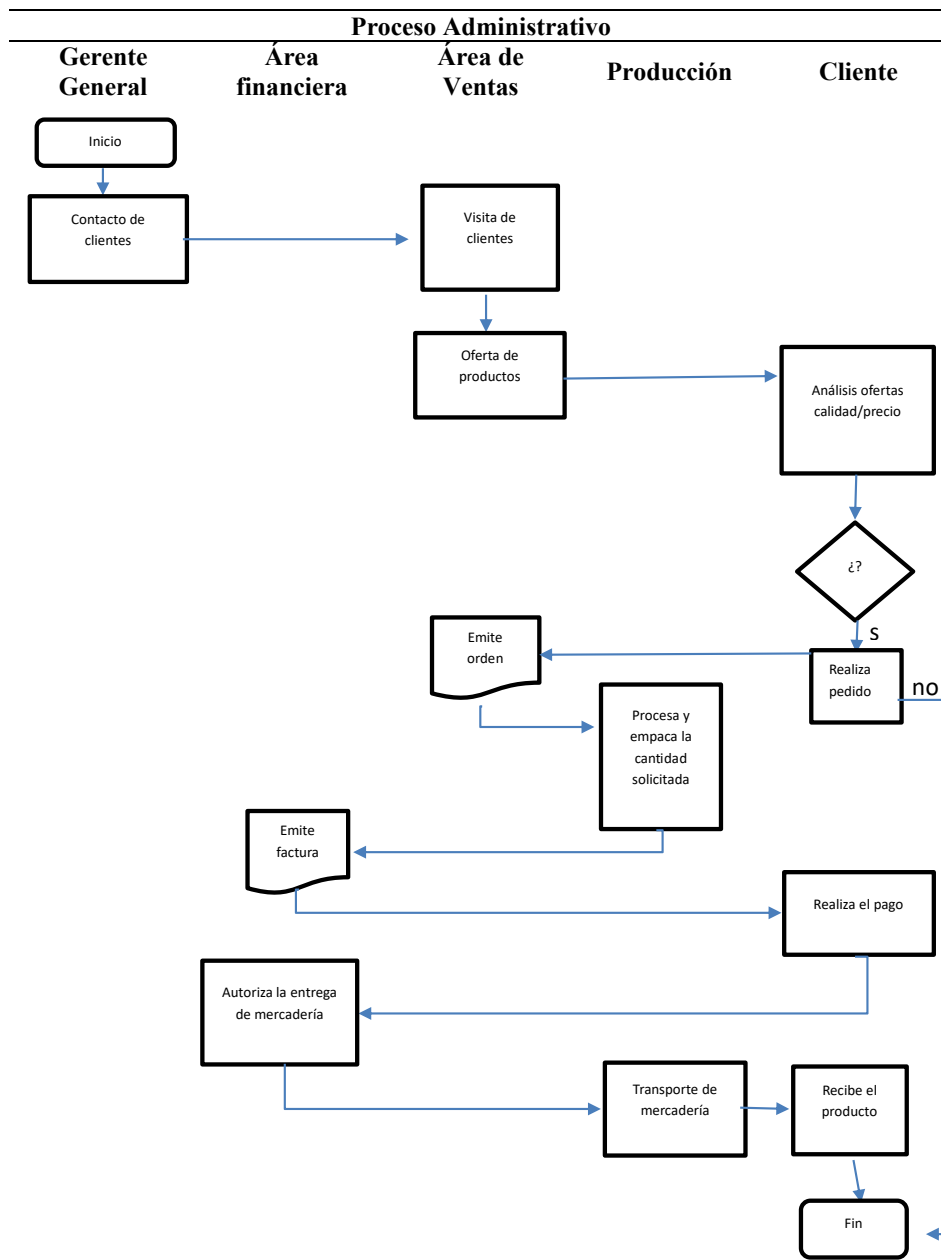
<b>Trabajos Constructivos</b>	<b>Recursos</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Alquiler del galpón	Alquiler mensual del coliseo de IMSA	5.000
Construcción de Servicios Higiénicos	Pintura, cerámica, porcelana, brochas, rodillos, lija, cemento, ripio, arena, bondex, estuco, bloques, sanitarios, lavabos e implementos, tuberías internas, mano de obra	5.000
Adaptación para el funcionamiento de la planta	Lámparas, alarma, cables, cámaras, conexiones de luz, agua, tuberías, etc.	10.000

*Nota.* En esta tabla se encuentran los costos promedio para la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta, extraídos del índice de precios de materiales, equipo y maquinaria de la construcción Boletín No.305 actualizado hasta agosto del 2025.

### 4.3.2 Organigrama del Proceso Administrativo

**Figura 7**

*Gráfico del proceso administrativo de la planta de pirólisis convertir NFU's en combustible*

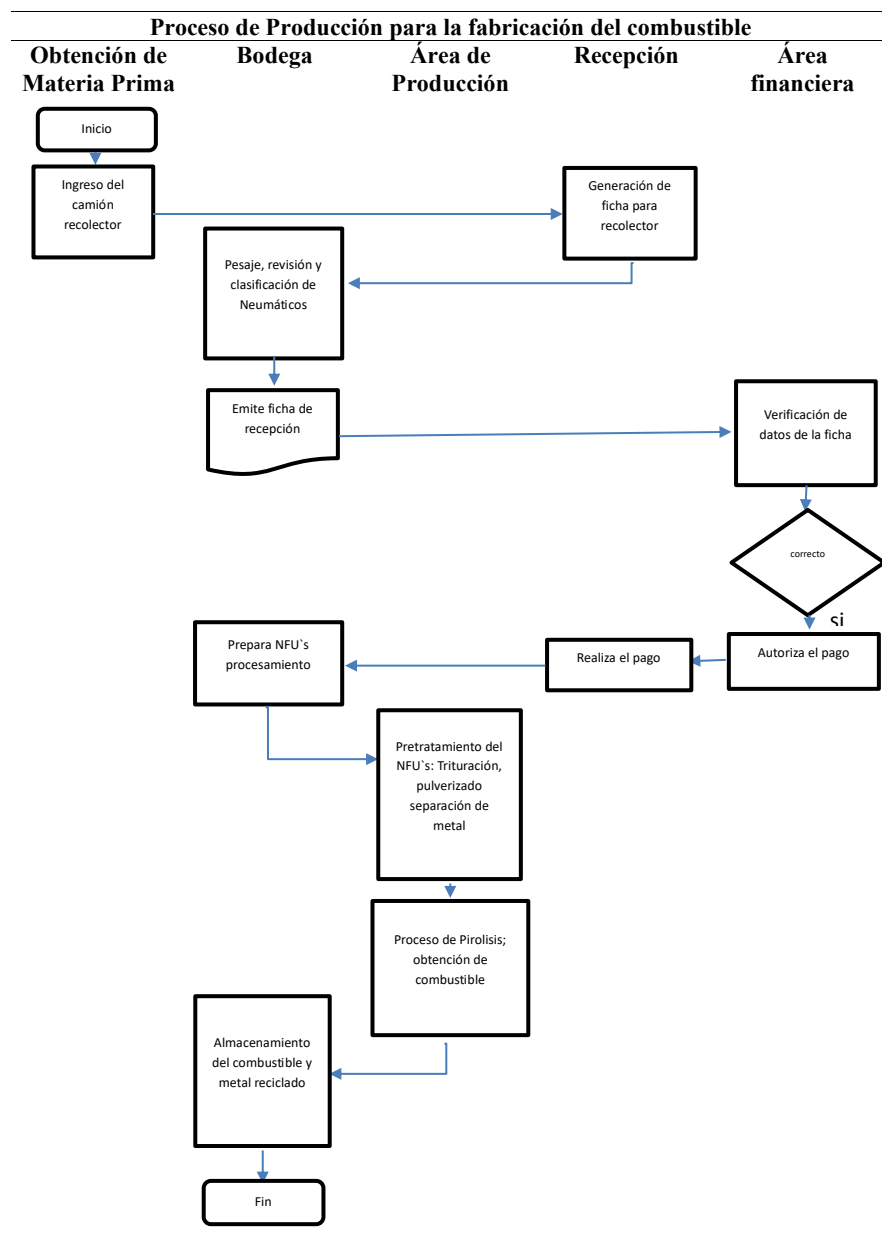


*Nota.* Representación del proceso productivo y las operaciones de cada área de la empresa.

### 4.3.3 Flujograma del proceso productivo

**Figura 8**

*Gráfico del proceso productivo de la planta de pirólisis de NFU's a combustible.*

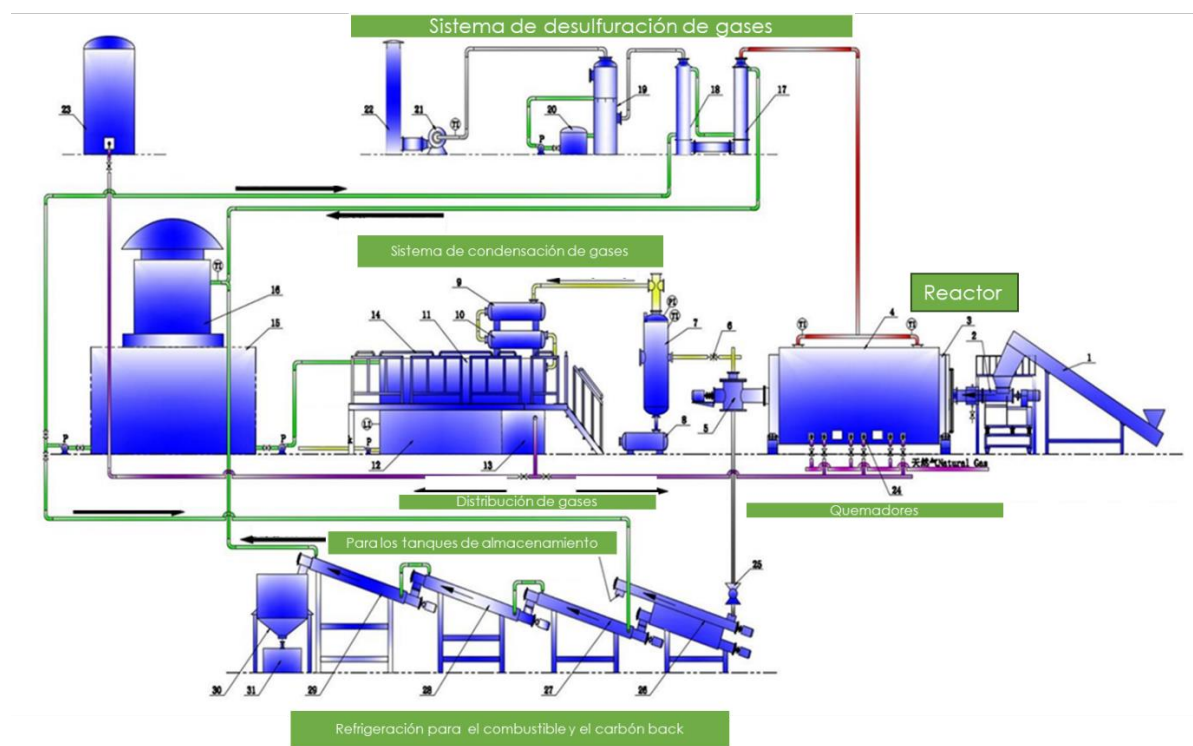


*Nota.* Representación gráfica del proceso productivo de combustibles a partir de NFU's, operaciones de cada área de la empresa, partiendo la llegada de materia prima hasta el almacenamiento del producto.

#### 4.3.4 Flujograma de la maquinaria

**Figura 9**

*Flujo de operaciones de la maquinaria MJL-15*




*Nota.* en esta imagen se representa gráficamente el orden los procesos que se realiza dentro de la maquinaria para poder identificar entradas y salidas.

#### 4.3.5 Descripción productiva de la planta






**Tabla 30**





*Cuadro explicativo del proceso productivo de la planta de transformación de NFU's.*

Orden	Proceso	Descripción	Equipo
1	Recepción de materia prima	La materia prima será recolectada directamente de los productores y transportada hacia la planta, donde será almacenada en el área destinada para el acopio.	

2	Separación de Cubiertas	Inicio del pretratamiento de NFU's, con la maquina separadora de cubierta, la cual retira todos los componentes que se encuentran en la banda de rodamiento.	
3	Sacado de puntas	En esta etapa, el neumático se corta mediante cuchillas para obtener bandas para facilitar su manipulación.	
4	Cortado, trituración y pulverización	Las bandas de caucho son sometidas a un proceso de trituración donde se convierten en pequeños gránulos de caucho.	
5	Separación de Alambres	Posteriormente, el material triturado pasa por un separador magnético que clasifica el acero reciclado el cual es un subproducto de la planta.	
6	Obtención de granulado de caucho	Fase final del pretratamiento, los gránulos de caucho pasan por un sistema de filtrado y clasificación por tamaño, que aseguran que solo las partículas menores a 50 mm ingresen al reactor de pirólisis y a la vez se eliminan los restos de material textil.	



7	Alimentación automática del reactor	Los gránulos ingresan a la banda de transporte a un alimentador automático que se puede programar para la cantidad adecuada, recordando que la planta es de proceso semicontinuo, es decir, trabaja en lotes de hasta 8 toneladas.	
8	Proceso de Pirólisis	Una vez que el reactor se encuentra cargado, se cierra herméticamente e inicia su movimiento rotatorio mientras es calentado hasta alcanzar una temperatura de 450 °C. Durante esta etapa de pirólisis, el material se transforma en gases, líquidos y residuos sólidos; todo el proceso dura alrededor de 8 horas.	
9	Separación de gases (vapor – gases)	Proceso de separación por gravedad en gases: condensables y no condensables, dentro de este proceso los vapores, que formaran el combustible.	
10	condensación de vapores	Los vapores condensables son direccionados al sistema de condensación de los vapores donde por medio del enfriamiento se obtendrá combustible líquido.	
11	Separación agua- aceite	Debido a la condensación de gases se obtiene como subproducto agua por lo que a través de gravedad se puede separar y se reutiliza.	

12	Sistema de desulfuración	Los gases no condensables llevan en si muchos compuestos sulfurosos por lo que en este proceso el gas se depura con una suspensión de caliza recirculante, que elimina el 95 % de SO <sub>2</sub> del gas de combustión. Además, dentro de este proceso se elimina casi todo el HCl contenido en el gas de combustión.	
13	Almacenamiento de gases para su utilización	Una ventaja de las plantas de pirólisis es que pueden ser casi autosustentables los gases una vez desulfurados se pueden ocupar para el calentamiento del siguiente lote, por ende, este se almacena.	
14	Almacenamiento del combustible	El combustible se almacenará en tanques con gran capacidad de almacenamiento, pues la planta cuenta 2 tanques con capacidad de 30000 L.	
15	Descarga de carbón	La descarga de carbón black se realiza al finalizar cada lote de manera automática a través de un tornillo sin fin para su almacenamiento.	

*Nota.* En esta tabla se encuentran de manera ordenada las etapas y procesos que realiza la planta para la transformación de NFU's a combustible, también se encuentran imágenes de los diversos equipos, toda esta información fue extraída de la ficha técnica de la planta (HENAN MINGJIE ENVIROMENTAL EQUIPMENT CO. LTD, 2019).

### 4.3.6 Inversiones Fijas

#### Activos Fijos

El análisis de activos fijos de la planta, se consideró a todos los equipos y materiales que se requiere para el funcionamiento de la planta y presentan depreciación:

- Muebles de Oficina
- Equipos de Computo
- Maquinaria y equipo

Además, se determinó como activo fijos al arrendamiento del coliseo y el servicio de fletes para los productos finales.

**Tabla 31**

#### *Muebles de Oficina*

Activo	Can t.	Costo unitari o (USD)	Costo total (USD)	Vid a útil	% de salva ment o	Valor de salvam ento (USD)	Base despre ciable (USD)	Depreci ación Anual (USD)
Escritorios	4	225	900	10	10%	90	810	81
Silla tipo gerente	4	179	716	10	10%	71,6	644,4	64,44
Sillas	12	55	660	10	10%	66	594	59,4
Escritorio Recepción	1	1.783	1.783	10	10%	178,3	1.604,7	160,47
Sillón sala de espera	4	346,96	1.387,8	10	10%	138,8	1.249,1	124,91
Estantería	4	140	560	10	10%	56	504	50,4
Pizarra de tiza líquida	2	59	118	10	10%	11,8	106,2	10,62
Estantería Aérea	4	110	440	10	10%	44	396	39,6
Mesa de reuniones	1	380	380	10	10%	38	342	34,2
Casilleros	4	140	560	10	10%	56	504	50,4
<b>Total</b>			<b>7.504,8</b>			<b>750,5</b>		<b>675,44</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentran todo lo necesario para el funcionamiento de una oficina lo cual se denomina como un activo fijo, bienes fundamentales para que el personal del área administrativa desempeñe sus actividades, en esta tabla se detalló los costos de adquisición de los muebles con sus correspondientes depreciaciones, la fuente de los precios fue Mercado Libre para julio 2025.

**Tabla 32**

*Equipos de Computo*

Activo	#	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Vida útil	% de salvamento	Valor de salvamento (USD)	Base despreciable (USD)	Depreciación Anual (USD)
Teléfono	5	49	245	3	33,33	81,66	163,3	54,4
Ventilador industrial	4	170	680	3	33,33	226,64	453,4	151,1
Computador	5	400	2.000	3	33,33	666,6	1.333,4	444,4
Regulador	10	19	190	3	33,33	63,33	126,7	42,2
Copiadora	2	239	478	3	33,33	159,32	318,7	106,2
Proyector	1	547	547	3	33,33	182,32	364,7	121,5
<b>Total</b>			<b>4.140</b>			<b>1.379,9</b>		<b>920</b>

*Nota.* En esta tabla se detalla el equipo para el funcionamiento de la oficina administrativa, los precios fueron analizados de Mercado Libre para julio del 2025.

**Tabla 33***Maquinaria y equipo*

<b>Activo</b>	<b>#</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>	<b>Vida útil</b>	<b>% de salvamento</b>	<b>Depreciación Anual (USD)</b>
Línea de reciclaje de NFU's de la empresa Zhengzhou	1	50.000	50.000	20	0,1	4.500
Planta de transformación de NFU's Modelo MJL-15	1	122.500	122.500	20	0,1	11.025
Tanque de combustible de 30000 L	2	9.560	191.20	10	0,1	1.720,8
<b>Total</b>			<b>191.620</b>			<b>17.245,8</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentra el costo de la maquinaria completa para la producción de combustible a partir de NFU's, pretratamiento, producción y almacenamiento.

**Tabla 34***Edificios*

<b>Activo</b>	<b>Características</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Anual (USD)</b>
Arrendamientos y cánones	Coliseo dentro del parque industrial de la ciudad, antigua empresa IMSA	5.000	60.000

*Nota.* En esta tabla se encuentra los costos anuales para el arriendo del coliseo donde se implementará la planta.

### ***Costos de transporte para los productos finales de la planta***

El costo de flete se analizó a través de la variable distancia, la ubicación de los clientes industriales no sobrepasa una distancia de 70 km desde la planta por lo que se utilizó el costo un mínimo de un flete, este valor se obtuvo del análisis de documentos que incluían el servicio de transporte terrestre de carga pesada incluido conductor publicados en el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP).

**Tabla 35**

#### ***Costos de Transporte para el combustible***

<b>Año</b>	<b>Producción total de combustible (gal)</b>	<b>Capacidad de Tanquero (gal)</b>	<b>Viajes al año</b>	<b>Costo de Flete mínimo de 1 a 70 km (USD)</b>	<b>Costo Total de Fletes al año (USD)</b>
2024	113.075,11	5.000	23	250,68	5.669,13
2025	139.169,37	5.000	28	250,68	6.977,40
2026	165.263,63	5.000	33	250,68	8.285,66
2027	191.357,89	5.000	38	250,68	9.593,92
2028	217.452,14	5.000	44	250,68	10.902,18

*Nota.* En esta tabla se encuentran la estimación de costos para el transporte del combustible que se produce al año en una proyección de 5 años.

**Tabla 36**

#### ***Costos de Transporte para el metal reciclado***

<b>Año</b>	<b>Producción total de Metal (T)</b>	<b>Capacidad de camión (T)</b>	<b>Viajes al año</b>	<b>Costo de Flete mínimo de 1 a 70 km (USD)</b>	<b>Costo Total de Fletes al año (USD)</b>
2024	365,56	5	73	250,68	18.327,72
2025	449,92	5	90	250,68	22.557,19
2026	534,28	5	107	250,68	26.786,66
2027	618,64	5	124	250,68	31.016,14
2028	703	5	141	250,68	35.245,61

*Nota.* En esta tabla se encuentran la estimación de costos para el transporte de la producción anual de metal, teniendo en cuenta los centros de reciclaje donde se pueden entregar el acero reciclado, no sobrepasa los 70 km también se utilizó el valor de un mínimo.

**Tabla 37**

*Costos de Transporte para los productos finales de la plata*

<b>Año</b>	<b>Costo Total de fletes al año para el Combustible (USD)</b>	<b>Costo Total de fletes al año para el Metal (USD)</b>	<b>Costo Total de Fletes (USD)</b>
2024	5.669,13	18.327,71	23.996,85
2025	6.977,40	22.557,19	29.534,59
2026	8.285,66	26.786,66	35.072,32
2027	9.593,92	31.016,14	40.610,05
2028	10.902,18	35.245,61	46.147,79

*Nota.* En esta tabla se encuentra la sumatoria a los costos totales del flete para ambos productos.

#### **4.3.7 Activos diferidos e Intangibles**

**Tabla 38**

*Gastos de constitución de la planta*

<b>Concepto</b>	<b>Valor (USD)</b>
Patente Municipal	1000
Permiso de Bomberos	500
Obtención del Ruc	60
<b>Total</b>	<b>1.560</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentran los valores para la obtención de los permisos necesarios para la constitución de la planta.

#### **4.3.8 Materia Prima**

$$\text{Costo total MPD} = \text{Peso total de neumáticos (T)} * \text{Precio de NFU} \left( \frac{\text{USD}}{\text{T}} \right) \quad (\text{Ec } 9)$$

La materia prima directa para la planta de pirólisis consiste en neumáticos fuera de uso (NFU), adquiridos a un precio de 0,054 USD por kilogramo, equivalente a 54 USD por tonelada.

Este costo se calcula considerando el Ecovalor establecido en el reglamento al Código Orgánico del Ambiente (Art. 663) y el análisis de la competencia directa, como la empresa SEGINUS, para asegurar competitividad en la obtención de la materia prima (ver Ecuación 8 en el documento).

**Tabla 39**

*Costos de Materia Prima*

<b>Año</b>	<b>Proyección de Neumáticos</b>	<b>Peso promedio del neumático (T)</b>	<b>Peso Total de los neumáticos (T)</b>	<b>Precio de NFU's (USD*T)</b>	<b>Costo Total de Materia Prima</b>
2024	104.000	0,0185	1.924	54	<b>103.896</b>
2025	128.000	0,0185	2.368	54	<b>127.872</b>
2026	152.000	0,0185	2.812	54	<b>151.848</b>
2027	176.000	0,0185	3.256	54	<b>175.824</b>
2028	200.000	0,0185	3.700	54	<b>199.800</b>

*Nota.* Estos costos representan el gasto anual necesario para la adquisición de NFU, alineándose con la demanda proyectada y la capacidad de la planta (modelo MJL-15, con eficiencia de conversión del 45% en combustible).

El análisis económico indica un incremento anual del 23% en costos, impulsado por el crecimiento del parque automotor en Riobamba (de 35.000 vehículos en 2022 a 65.000 en 2024), lo que asegura un suministro constante, pero requiere proyecciones conservadoras para mitigar riesgos de escasez.

#### **4.3.9 Costos de mano de obra**

Para el análisis de mano de obra se realizó un listado del personal necesario para cada área de la empresa.

$$MOI\ Total = \sum (Costo\ total\ anual\ de\ personal\ de\ apoyo) \quad (Ec\ 10)$$



**Tabla 40**

*Personal necesario para el funcionamiento de la planta en general.*

<b>Equipo Técnico Multidisciplinario</b>	<b>Desempeño</b>
Coordinador general del proyecto (Ingeniero ambiental)	Encargado de la planificación, gestión de tiempos, coordinación de equipos, relación con autoridades. Identificación de impactos, elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)
Ingeniero Mecánico	Análisis del proceso de pirólisis/tecnología de conversión.
Ingeniero Industrial	Diseño de capacidad, balances de materia y energía, costos de producción.
Técnico de campo	Apoyo en muestreos, encuestas y logística. (Distribución y recepción)
Operario 1	Polifuncional
Operario 2	Polifuncional

*Nota.* En esta tabla se encuentra descrito el personal necesario y las funciones que desarrollaran dentro de la planta.

**Figura 9**

*Costos de mano de obra en general para el proyecto*

NOMBRE DEL PUESTO	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL	ROL DE PAGOS DEL PERSONAL				COST. TOTAL ANUAL	Fondos de Reserva	
			DECIMO TERCERO	DECIMO CUARTO	APORTE IESS	8,33%		Vacaciones	
Coordinador general del proyecto	\$ 1.000,00	\$ 12.000,00	\$ 1.000,00	\$ 470,00	\$ 1.338,00	\$ 14.808,00	\$ 83,30	\$ 41,67	
Ingeniero Mecánico	\$ 800,00	\$ 9.600,00	\$ 800,00	\$ 470,00	\$ 1.070,40	\$ 11.940,40	\$ 66,64	\$ 33,33	
Ingeniero Industrial	\$ 800,00	\$ 9.600,00	\$ 800,00	\$ 470,00	\$ 1.070,40	\$ 11.940,40	\$ 66,64	\$ 33,33	
Técnico de campo	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58	
Operario 1	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58	
Operario 2	\$ 470,00	\$ 5.640,00	\$ 470,00	\$ 470,00	\$ 628,86	\$ 7.208,86	\$ 39,15	\$ 19,58	
TOTAL		48.120,00	4.010,00	2.820,00	5.365,38	60.315,38	\$ 334,03	\$ 167,08	
							*12		
FONDOS DE RESERVA	4.008,40	ANUAL						\$ 4.008,40	\$ 2.005,00
VACACIONES	2.005,00	ANUAL							

*Nota.* En esta imagen se encuentra el análisis de sueldos para todo el personal del proyecto desarrollado para un período de un año, tomando en cuenta décimo tercero, décimo cuarto, aporte al IESS y vacaciones.

#### 4.3.10 Gastos de Administración

**Tabla 41**

*Descripción de los gastos de administración*

<b>Gastos de Administración</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Parcial (USD)</b>	<b>Presupuesto Anual (USD)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cálculo</b>
<b>Servicios básicos de administración</b>	-	<b>3.600,00</b>	Variable	\$ 300 mensuales por 12 meses
<b>Sueldos y salarios</b>	-	<b>60.315,38</b>	Fijo	Sumatoria de los sueldos anuales del personal del área
Coordinador general del proyecto (Ingeniero ambiental)	12.000	-	Fijo	\$ 1000 mensuales por 12 meses
Ingeniero Mecánico	8.000	-	Fijo	\$ 800 mensuales por 12 meses
Ingeniero Industrial	8.000	-	Fijo	\$ 800 mensuales por 12 meses
Técnico de campo	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
Operario 1	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
Operario 2	5.640	-	Fijo	\$ 470 mensuales por 12 meses
<b>Total de Gastos</b>		<b>63.915,38</b>		

*Nota.* En esta tabla se encuentra en manera de resumen los gastos administrativos con su presupuesto anual con su respectiva justificación, obteniendo así \$63.915,38 de la sumatoria de los diferentes gastos del área administrativa.

#### 4.3.11 Resumen de Inversiones

Para el resumen de inversiones o el cálculo de la inversión total se incluyó: Inversión de activos fijos (maquinaria, construcción), inversión de activos diferidos e intangibles e inversión en capital de trabajo.

**Tabla 42***Determinación de la Inversión Total*

<b>Resumen de Inversiones</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Rubro (USD)</b>
Inversión de activos fijos	287.261,69
Inversión de activos diferidos e intangibles	1.560,00
Inversión en capital de trabajo	63.915,38
<b>Inversión Total</b>	<b>352.737,07</b>

*Nota.* El valor de inversión total es la sumatoria de todos los activos necesarios para la materialización de la planta.

**4.3.12 Estructura Financiera**

Para el financiamiento del proyecto se cuenta con 3 socios que contribuirán con el 38.14% de la inversión total el otro 61.86% viene del capital financiado, la entidad que nos financiara es el Banco de Desarrollo del Ecuador B.P., el cual tiene como propósito impulsar el mercado de valores y diversificar estratégicamente sus fuentes de financiamiento, a través de bonos verdes, prestamos con plazos máximos de 5 años a un interés del 9%.

**Tabla 43***Estructura financiera*

<b>Detalle</b>	<b>Monto de Inversión (USD)</b>	<b>Porcentaje de Inversión (%)</b>
Capital Propio	-	0,00
Aporte de Socios	134.529,00	38,14
Capital Financiado	218.208,07	61,86
<b>Total</b>	<b>352.737,07</b>	<b>100</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentran las cantidades exactas que financiaran los socios y el préstamo del banco, para cubrir la inversión total.

La amortización del préstamo se realizó a través del sistema alemán ya que se desea ir disminuyendo intereses al pasar de los años, a diferencia del sistema francés que acumula intereses.

**Tabla 44***Amortización del préstamo para un periodo de 5 años*

<b>Año</b>	<b>Saldo inicial (USD)</b>	<b>Intereses (USD)</b>	<b>Monto (USD)</b>	<b>Amortización (USD)</b>	<b>Cuota (USD)</b>	<b>Saldo Final (USD)</b>
0						218.208,07
1	218.208,07	3.927,75	222.135,82	43.641,61	47.569,36	174.566,46
2	174.566,46	3.142,20	177.708,65	43.641,61	46.783,81	130.924,84
3	130.924,84	2.356,65	133.281,49	43.641,61	45.998,26	87.283,23
4	87.283,23	1.571,10	88.854,33	43.641,61	45.212,71	43.641,61
5	43.641,61	785,55	44.427,16	43.641,61	44.427,16	-
<b>Total</b>		<b>11.783,24</b>		<b>218.208,07</b>	<b>229.991,31</b>	

*Nota.* La tabla de amortización nos da como resultados las cuotas que deberíamos pagar cada año y la cantidad final que se pagara por el préstamo.

### 4.3.13 Proyección de Egresos

**Tabla 45***Gastos de Administración para una proyección de 5 años*

<b>Concepto</b>	<b>Año 1 (USD)</b>	<b>Año 2 (USD)</b>	<b>Año 3 (USD)</b>	<b>Año 4 (USD)</b>	<b>Año 5 (USD)</b>
<b>Servicios básicos administración</b>	3.600,00	3.711,60	3.826,66	3.945,29	4.067,59
<b>Sueldos y salarios personal administrativo</b>					
Coordinador general del proyecto	12.000,00	12.384,00	12.780,29	13.189,26	13.611,31
Ingeniero Mecánico	9.600,00	9.907,20	10.224,23	10.551,41	10.889,05
Ingeniero Industrial	9.600,00	9.907,20	10.224,23	10.551,41	10.889,05
Técnico de campo	5.640,00	5.820,48	6.006,74	6.198,95	6.397,32
Operario 1	5.640,00	5.820,48	6.006,74	6.198,95	6.397,32
Operario 2	5.640,00	5.770,28	5.903,58	6.039,95	6.179,47
<b>Beneficios de ley</b>					
Décimo tercer sueldo	4.010,00	4.138,32	4.270,75	4.407,41	4.548,45
Décimo cuarto sueldo	2.820,00	2.910,24	3.003,37	3.099,48	3.198,66
Aporte patronal	5.365,38	5.537,07	5.714,26	5.897,11	6.085,82
Fondos de reserva		5.850,00	6.037,20	6.230,39	6.429,76

Vacaciones	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>63.915,38</b>	<b>71.756,88</b>	<b>73.998,03</b>	<b>76.309,60</b>	<b>78.693,80</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentra los costos para los 5 años de proyección, donde se puede observar el aumento de sueldos y beneficios de la ley, lo que nos permitió conocer el valor de inversión por capital de trabajo para cada año, con una tasa de crecimiento del 3,1%.

**Tabla 46**

*Gastos no operacionales para una proyección de 5 años*

<b>Concepto</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Gastos financieros</b>					
Pago de préstamo	47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16
<b>Otros gastos</b>					
Imprevistos	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89
<b>Total</b>	<b>48.569,36</b>	<b>47.814,81</b>	<b>47.061,22</b>	<b>46.308,62</b>	<b>45.557,05</b>

*Nota.* Como principal gasto no operacional se tiene el pago del préstamo más un valor para imprevistos o emergencias con una tasa de crecimiento del 3,1%.

#### **4.3.14 Proyección de Ingresos y Egresos Totales**

**Tabla 47**

*Proyección total de ingresos*

<b>Año</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
1	296.594,36
2	365.039,21
3	433.484,06
4	501.928,91
5	570.373,76

*Nota.* Los valores establecidos en esta tabla es la suma de los valores calculados en las tablas 27 y 28 sobre los ingresos para producto de la planta.

**Tabla 48**

*Proyección total de egresos*

<b>Concepto</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Egresos Variables</b>					
Costos de compra de Materia Prima	<b>103.896,00</b>	<b>127.872,00</b>	<b>151.848,00</b>	<b>175.824,00</b>	<b>199.800,00</b>
<b>Egresos Fijos</b>					
<b>Gastos Operacionales</b>					
Gastos administrativos	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80
Depreciaciones	21.791,33	21.791,33	21.791,33	18.298,00	18.298,00
Amortizaciones	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
<b>Gastos no operacionales</b>					
Gastos financieros	60.649,36	59.647,81	58.646,26	57.644,71	56.643,16
Otros gastos	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89
<b>Total</b>	<b>251.564,07</b>	<b>282.411,02</b>	<b>307.658,58</b>	<b>329.484,22</b>	<b>354.876,85</b>

*Nota.* El total de egresos es la sumatoria de toda salida de recurso para cumplir un pago, como lo es la adquisición de materia prima ya que al final de cuentas es una inversión.

**Tabla 49**

*Estado de Resultados*

<b>Concepto</b>	<b>Año 1 (USD)</b>	<b>Año 2 (USD)</b>	<b>Año 3 (USD)</b>	<b>Año 4 (USD)</b>	<b>Año 5 (USD)</b>
<b>Ingresos Operacionales</b>	<b>296.594,36</b>	<b>365.039,21</b>	<b>433.484,06</b>	<b>501.928,91</b>	<b>570.373,76</b>
(-) Costo de Ventas	<b>103.896,00</b>	<b>127.872,00</b>	<b>151.848,00</b>	<b>175.824,00</b>	<b>199.800,00</b>
<b>(=) Utilidad bruta en ventas</b>	<b>192.698,36</b>	<b>237.167,21</b>	<b>281.636,06</b>	<b>326.104,91</b>	<b>370.573,76</b>
<b>(-) Gastos Operacionales</b>					
(-) Gastos administrativos	63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80

(-) Depreciaciones	22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64
(-) Amortizaciones	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
<b>(=) Resultado gastos operacionales</b>	<b>86.229,02</b>	<b>94.070,52</b>	<b>96.311,67</b>	<b>97.703,24</b>	<b>100.087,44</b>
<b>Gastos no operacionales</b>					
(-) Gastos financieros	47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16
(-) Otros gastos no operacionales	1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89
<b>(=) Resultado gastos no operacional</b>	<b>48.569,36</b>	<b>47.814,81</b>	<b>47.061,22</b>	<b>46.308,62</b>	<b>45.557,05</b>
<b>Total de Gastos</b>	<b>134.798,38</b>	<b>141.885,33</b>	<b>143.372,89</b>	<b>144.011,86</b>	<b>145.644,49</b>
<b>(=) Resultado del ejercicio operacional</b>	<b>57.899,98</b>	<b>95.281,88</b>	<b>138.263,17</b>	<b>182.093,05</b>	<b>224.929,27</b>
(-) 15% participación empleados	8.685,00	14.292,28	20.739,48	27.313,96	33.739,39
<b>(=) Resultado antes de impuestos</b>	<b>49.214,98</b>	<b>80.989,60</b>	<b>117.523,69</b>	<b>154.779,09</b>	<b>191.189,88</b>
(-) 22% impuesto a la renta	12.303,75	20.247,40	29.380,92	38.694,77	47.797,47
<b>(=) Resultado antes de reservas</b>	<b>36.911,24</b>	<b>60.742,20</b>	<b>88.142,77</b>	<b>116.084,32</b>	<b>143.392,41</b>
(-) 5% Reserva Legal	1.845,56	3.037,11	4.407,14	5.804,22	7.169,62
<b>(=) Resultado neto en el ejercicio</b>	<b>35.065,67</b>	<b>57.705,09</b>	<b>83.735,63</b>	<b>110.280,10</b>	<b>136.222,79</b>

*Nota.* La interpretación de la tabla se basa en el aumento de la utilidad del año 1 al 5, el proyecto mejora su rentabilidad con el tiempo.

**Tabla 50**

*Tasa mínima aceptable de Retorno (TMAR)*

<b>Indicadores macroeconómicos</b>	<b>Datos</b>
Riesgo país	12%
Inflación	0,53%
Tasa pasiva	7,74%
<b>TMAR</b>	<b>20,27%</b>

*Nota.* Los datos de los indicadores necesarios para calcular la TMAR fueron tomados del banco central del Ecuador para el 2024.

#### 4.3.15 Flujo de caja Neto

**Tabla 51**

*Flujo de efectivo de la operación de la planta*

		<b>Año 1 (USD)</b>	<b>Año 2 (USD)</b>	<b>Año 3 (USD)</b>	<b>Año 4 (USD)</b>	<b>Año 5 (USD)</b>
<b>ingresos operacionales</b>	<b>352.737,07</b>	<b>296.594,36</b>	<b>365.039,21</b>	<b>433.484,06</b>	<b>501.928,91</b>	<b>570.373,76</b>
(-) costo de ventas		103.896,00	127.872,00	151.848,00	175.824,00	199.800,00
<b>(=) utilidad bruta en ventas</b>		<b>192.698,36</b>	<b>237.167,21</b>	<b>281.636,06</b>	<b>326.104,91</b>	<b>370.573,76</b>
(-) gastos operacionales						
(-) gastos administrativos		63.915,38	71.756,88	73.998,03	76.309,60	78.693,80
(-) depreciaciones		22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64
(-) amortizaciones		312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
<b>(=) resultado gastos operacional</b>		<b>86.229,02</b>	<b>94.070,52</b>	<b>96.311,67</b>	<b>97.703,24</b>	<b>100.087,44</b>
<b>gastos no operacionales</b>						
(-) gastos financieros		47.569,36	46.783,81	45.998,26	45.212,71	44.427,16
(-) otros gastos no operacionales		1.000,00	1.031,00	1.062,96	1.095,91	1.129,89



<b>(=) resultado gastos no operacional total gastos</b>		<b>48.569,36</b>	<b>47.814,81</b>	<b>47.061,22</b>	<b>46.308,62</b>	<b>45.557,05</b>
utilidad antes de impuestos		134.798,38	141.885,33	143.372,89	144.011,86	145.644,49
(-) 15% participación empleados		57.899,98	95.281,88	138.263,17	182.093,05	224.929,27
(-) 22% impuesto a la renta		8.685,00	14.292,28	20.739,48	27.313,96	33.739,39
(-) 5% reserva legal		\$	\$	\$	\$	\$
<b>utilidad neta</b>		12.738,00	20.962,01	30.417,90	40.060,47	49.484,44
(+) depreciación		3.419,23	5.918,09	8.869,59	12.115,75	15.433,39
(+) amortización		<b>57.899,98</b>	<b>95.281,88</b>	<b>138.263,17</b>	<b>182.093,05</b>	<b>224.929,27</b>
(+) reservas		22.001,64	22.001,64	22.001,64	21.081,64	21.081,64
(-) inversión en propiedad planta y equipo (activos fijos)	287.261,69	312,00	312,00	312,00	312,00	312,00
(-) inversión diferidos e intangibles	1.560,00	1.845,56	3.037,11	4.407,14	5.804,22	7.169,62
(-) capital de trabajo	63.915,38					
(+) recuperación del capital de trabajo						63.915,38
(+) valor residual						95.096,64
(+) crédito recibido	218.208,07					
(-) pago del capital		43.641,61	43.641,61	43.641,61	43.641,61	43.641,61
<b>Flujo de - efectivo</b>	<b>352.737,07</b>	<b>38.417,57</b>	<b>76.991,02</b>	<b>121.342,33</b>	<b>165.649,29</b>	<b>368.862,94</b>

*Nota.* En esta tabla se presenta como resultado final los valores de flujo neto para cada año de manera individual.

#### 4.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

**Tabla 52**

*Evaluación financiera final*

<b>Indicador</b>	<b>Resultados (USD)</b>
VAN	27.932,49
TIR	22,81%
B/C	1,08
TMAR	20,27%

*Nota.* los valores de esta tabla son los que permitirán tomar la decisión final si se avanza o no con el proyecto.

**Tabla 53**

*Período de recuperación*

<b>Años</b>	<b>Flujos Netos (USD)</b>	<b>Flujo de Fondos Acumulados (USD)</b>
<b>(-) Inversión</b>	352.737,07	
1	38.417,57	38.417,57
2	76.991,02	115.408,58
<b>3</b>	<b>121.342,33</b>	<b>236.750,92</b>
<b>4</b>	<b>165.649,29</b>	<b>402.400,21</b>
5	368.862,94	771.263,15
<b>Total</b>	<b>771.263,15</b>	

*Nota.* En esta tabla se resalta el valor de flujo de fondos acumulados para el cuarto año debido a que es el año en el que se supera la inversión inicial.

El flujo de fondos acumulados reporto que para el cuarto año la acumulación de efectivo es de \$ 402.400,21 superando la inversión inicial de \$ 352.737,07, para calcular el período de recuperación de la inversión (PRI), se seleccionó para FAMI = \$ 236.750.92, FAS = \$ 165.649,29 y para AT = 3 años, como lo solicita la Ec 5.

$$PRI = \frac{352.737,07 - 236.750,92}{165.649,94} + 3 \text{ años}$$

$$PRI = 3,70 \text{ años}$$

El proyecto después de iniciar sus operaciones recupera su inversión en un periodo exacto de 3.80 años, lo cual es realmente aceptable.

#### **4.5 VALIDACIÓN AMBIENTAL**

La validación ambiental de un proyecto para gestionar NFU y crear combustibles líquidos se basa en comparar este método con otros tradicionales, como los vertederos y la incineración, para demostrar su aporte ambiental. Los vertederos tienen dos problemas principales: en primer lugar, es que los neumáticos no se compactan, por lo que ocupan mucho espacio y dificultan el uso del suelo, y en segundo lugar liberan sustancias tóxicas como hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados, que afectan la calidad del suelo y el agua subterránea (Zhao et al., 2025).

Además, los NFU se degradan muy lentamente, lo que agrava el problema ambiental. Por su parte, la incineración se usa para reducir el volumen de los NFU, pero presenta tres inconvenientes: primero suele hacerse en espacios abiertos sin control de la quema; segundo requiere combustibles fósiles para iniciar el proceso y destruye completamente los neumáticos sin recuperar recursos, y tercero emite CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y gases tóxicos como dioxinas debido a la composición de los NFU (Zhao et al., 2025), lo que afecta la calidad del aire y dificulta el avance hacia el ODS 13 sobre acción climática.

El pirólisis de NFU para generar combustibles se ajusta a los principios de la economía circular, ya que reduce residuos, extiende la vida útil de los materiales y produce nuevos recursos como combustibles líquidos, gaseosos y negro de humo, además de disminuir las emisiones de carbono (Zhao et al., 2025). El análisis de los beneficios ambientales de una planta de pirólisis muestra que el mayor impacto positivo se da al usar los productos finales, aunque el funcionamiento de la planta también puede tener efectos ambientales. Zhao et al. (2025) lo analizaron en su estudio sobre tecnologías de reciclaje de neumáticos usados.

El combustible obtenido por pirólisis, gracias a su alto poder calorífico, puede reemplazar o complementar el diésel en quemadores industriales como calderas y hornos de cemento, lo que

genera un impacto ambiental positivo, ya que sustituir 1 kg de diésel por combustible pirolítico puede reducir entre 2,7 y 3,2 kg de CO<sub>2</sub> equivalente (Wu et al., 2025).

Se realizó un análisis teórico sobre la reducción de CO<sub>2</sub> al usar todo el combustible producido por la planta, y se estimó que por cada tonelada de combustible se evitan 2,95 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tabla 54**

*Reducción de CO<sub>2</sub> al ambiente por el uso de combustibles pirolíticos.*

<b>Año</b>	<b>Combustible que produce la planta (T)</b>	<b>Reducción de CO<sub>2</sub> por la sustitución del combustible (T de CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>Reducción total de T de CO<sub>2</sub> eq, al ambiente</b>
2025	468,9	2,95	1.383,15
2026	556,8	2,95	1.642,49
2027	644,7	2,95	1.901,83
2028	732,6	2,95	2.161,17
<b>Total</b>			<b>7.088,64</b>

*Nota.* En esta tabla se encuentra la producción de combustible en toneladas que tendrá la planta para el año 2025 hasta el 2028, en esos 4 años se logró una reducción de 7.088,64 T de CO<sub>2</sub> eq en el ambiente.

De igual manera, se realizó un análisis para identificar cuáles son las actividades de la planta que generan un impacto al ambiente partiendo de la hipótesis que la compensación ambiental se crea por la utilización de los productos de la planta mas no por la operación de la planta.

Para la identificación de impactos se realizó en 2 etapas: como primera etapa, se analizó la interacción que tiene el proyecto con el ambiente (se tomó en cuenta todas las operaciones de la planta) y como segunda etapa, se realizó la tipología de impactos a través de la matriz Conesa-Vitora.

**Tabla 55**

*Identificación de las interacciones del proyecto para con el ambiente*

Elemento	Preguntas	Respuesta		Descripción
		Si	No	
<b>Impactos significativos sobre el ambiente socioeconómico y cultural</b>	¿El proyecto podría vincularse con creación de peligros para las personas?		X	
	¿El proyecto podría vincularse con la ocupación de nuevas tierras en zonas de importancia ecológica?		X	
	¿El proyecto podría vincularse con la generación de procesos de ruptura de redes o alianzas sociales?		X	
	¿El proyecto podría vincularse a conflictos con comunidades afectadas por deterioro ambiental?		X	
	¿El proyecto podría vincularse a conflictos con autoridades y líderes locales?		X	
<b>Impactos significativos sobre la salud de la población</b>	¿El proyecto podría vincularse con emisión de efluentes líquidos, gaseosos o combinaciones de ellos?	X		El proyecto tiene emisiones de aguas: agua que se utiliza para el proceso de refrigeración de la maquina y agua resultante del proceso.
	¿El proyecto podría vincularse con generación de ruidos, vibraciones o radiaciones, especialmente		X	

	en zonas habitadas por personas?		
	¿El proyecto podría vincularse con riesgos asociados a factores humanos (explosiones, derrames de petróleo y productos químicos)?	X	Al tratarse del factor Humano existe un riesgo de manejo de combustibles, dentro del Art 435.- Plan de manejo ambiental, se debe contar con sub planes para aspectos ambientales y riesgos identificados, el riesgo explosiones y derrames de combustibles por el factor humano se puede manejar en los planes: prevención y mitigación de impactos, plan de contingentes y plan de capacitación.
<b>Impactos significativos sobre los recursos naturales</b>	¿El proyecto podría vincularse con afectación de biota nativa de especial valor ambiental?	X	
<b>Impactos significativos sobre áreas protegidas y de valor ambiental</b>	¿El proyecto podría vincularse con alteración de la composición del agua de manera tal que se elimine o modifique la flora o fauna acuática?	X	
<b>Impactos significativos sobre el paisaje</b>	¿El proyecto podría vincularse con modificaciones del paisaje y la existencia de belleza escénica?	X	

*Nota.* En esta tabla se encuentra el análisis sobre las operaciones de la planta y si representan un impacto para con el ambiente y una descripción en los procesos que si presentan una interacción.

**Tabla 56**

*Caracterización del impacto ambiental por el funcionamiento de la planta.*

<b>Acción/Actividad</b>	<b>Impacto</b>	<b>Carácter</b>	<b>Tipología</b>
Vertido diario de aguas residuales de la industria de producción de combustibles, agua resultante de la condensación del combustible.	Alteración físicoquímica de los hábitats acuáticos; bloqueo de luz solar y agotamiento de oxígeno.	Negativo	<p>Categoría: <b>Intensidad o grado probable de destrucción.</b>  Tipo: <b>Impactos Medio y alto</b>, existe la alteración de las propiedades físicoquímicas del agua que es desalojada por el sistema de alcantarillado sin conocer su paradero final.</p> <p>Categoría: <b>Extensión o Área de influencia del impacto.</b>  Tipo: <b>Impacto Parcial</b>, es la contaminación del río donde se descargue el agua de alcantarillado.</p> <p>Categoría: <b>Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.</b>  Tipo: <b>corto a mediano plazo</b>, la descarga diaria de aguas residuales va a superar los límites permisibles por acumulación y sinergia.</p> <p>Categoría: <b>Por su persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.</b>  Tipo: <b>Temporal o Pertinaz</b>, los efectos pueden durar de entre 1-3 años o de 4-10 años, pero no es un efecto permanente.</p> <p>Categoría: <b>Reversibilidad</b>  Tipo: <b>Irreversible</b>, no hay posibilidad de retornar a las condiciones iniciales del elemento agua por medios naturales.</p> <p>Categoría: <b>Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.</b></p>

---

Tipo: **Impacto Sinérgico**, con la descarga de aguas se produce un efecto conjunto con los contaminantes que contienen las aguas que recoge el sistema de alcantarillado.

Categoría: **Acumulación o efecto de incremento progresivo**

Tipo: **Acumulativo**, la acción que lo genera es de forma reiterada.

Categoría: **Por la relación causa efecto.**

Tipo: **Impacto Directo**, la descarga de aguas residuales tiene una incidencia directa en la contaminación del agua.

Categoría: **Por la periodicidad**

Tipo: **Impacto Periódico**, al ser descargas diarias y la planta opera todos los días.

Categoría: **Por la necesidad de aplicación de medidas correctoras.**

Tipo: **Impacto Severo**, exige medidas de mitigación y recuperación en un tiempo considerable para la recuperación de la calidad del agua

---

*Nota.* En esta tabla se encuentra el análisis de la tipología del impacto Alteración físicoquímica de los hábitats acuáticos; bloqueo de luz solar y agotamiento de oxígeno como resultado de la actividad del vertido de agua que se utiliza para la refrigeración de la planta y agua que se genera en la producción por condensación.



#### 4.5.1 Análisis de los potenciales de Riesgos

El plan aborda riesgos ambientales y operativos identificados en la validación ambiental, enfocándose en emisión de aguas contaminadas, factor humano (explosiones/derrames por error) y derrame de combustible (manejo de subproductos). Se integra en planes de prevención, mitigación, contingencias y capacitación, cumpliendo con Acuerdo Ministerial 097-A y ODS 12/13.

**Tabla 57**

*Medidas para los posibles riesgos por la operación de la planta*

Riesgo	Descripción	Medidas de Prevención/Mitigación	Responsable	Monitoreo
Emisión de Aguas Contaminadas	Vertido diario de agua residual de condensación; impacto medio-alto, parcial, temporal (alteración hábitats acuáticos, bloqueo luz solar, agotamiento oxígeno).	Tratamiento primario recirculación del agua antes de su descarga en alcantarillado con límites permisibles; plan de contingencia para sinergia/acumulación.	Gerente Ambiental	Análisis mensual de efluentes; reportes MAE.
Derrame de Combustible	Errores operativos causando explosiones/derrames; riesgo impredecible, reversible pero persistente. Fugas durante almacenamiento/transporte; impacto directo, medio, recuperable con intervención humana.	Capacitación anual (manejo seguro); protocolos SOP; auditorías internas; seguro contra accidentes. Contenedores doble pared; alarmas derrames; kits de respuesta; plan contingencia (absorbentes, contención).	Gerente de Operaciones  Equipo de Mantenimiento	Evaluaciones trimestrales; simulacros.  Inspecciones diarias; registros incidentes.

*Nota.* Este plan se alinea con matriz Conesa-Vítora y Código Orgánico del Ambiente (2017). Prioriza prevención para minimizar impactos significativos (APA: Martínez et al., 2013).

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Después de completar los estudios de validación económica, financiera y ambiental, se puede concluir que el proyecto “Estudio de la factibilidad y validación ambiental de una planta de conversión de neumáticos fuera de uso a combustible líquido en la ciudad de Riobamba” es rentable y viable.

Los resultados obtenidos reflejan que el valor presente de los flujos anuales asciende a \$380.669,56, reflejando los beneficios generados por la operación de la planta. El Valor Actual Neto (VAN) es de \$27.932,49, lo que indica la ganancia adicional tras recuperar la inversión, considerando una Tasa Mínima Aceptable de Rentabilidad (TMAR) del 20,27 % calculada para 2024. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó el 22,81 %, superando la rentabilidad mínima requerida y confirmando la viabilidad del proyecto a largo plazo. Además, la relación beneficio-costos es de 1,08, lo que representa un margen de ganancia de \$0,08 por cada dólar invertido; aunque este margen puede parecer reducido, en un contexto industrial constituye una ganancia real que respalda la sostenibilidad económica del proyecto. El periodo de recuperación de la inversión se estima en 3,7 años, lo que disminuye el riesgo para los inversionistas y aumenta la atractividad del proyecto, respaldando su viabilidad económica y financiera; puesto que el PRI también reconfirma la factibilidad del proyecto.

En cuanto al análisis ambiental, el estudio demuestra que la planta es viable desde el punto de vista ambiental. Según el análisis de mercado y las estimaciones de reducción de emisiones, el uso del combustible obtenido por pirólisis podría evitar la liberación de 7.088,64 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en cinco años de operación. La planta en Riobamba incorpora prácticas amigables con el medio ambiente, como el uso de aguas residuales para refrigeración. No obstante, existen riesgos asociados, como posibles derrames de combustible debido a fallas técnicas o errores humanos, lo que requiere la implementación de planes de capacitación y mitigación para minimizar impactos negativos. En conjunto, los resultados económicos y ambientales respaldan que la planta de conversión de NFU a combustibles líquidos es un proyecto rentable, sostenible y ambientalmente responsable, adecuado para su implementación en la ciudad de Riobamba.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cevallos, V., Esparza, F., Balseca, J., & Chafla, J. (2022). *FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA FINANCIAMIENTO*.  
<https://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/2073/5/Libro%20Formulacion%20y%20Evaluacion%20de%20Proyectos%20VF.pdf>
- Córdoba, M. (2011). *Formulaciòn y Evaluaciòn de Proyectos 2da Edicion*. 38–39.  
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/20.500.14624/1206/1/C%C3%B3rdoba-evaluaci%C3%B3n%20de%20eproyectos%202da%20ed.pdf>
- Espinoza, G. (2007). *Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*.
- Formela, K. (2021). Sustainable development of waste tires recycling technologies – recent advances, challenges and future trends. In *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* (Vol. 4, Issue 3, pp. 209–222). KeAi Communications Co.  
<https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.004>
- Grammelis, P., Margaritis, N., Dallas, P., Rakopoulos, D., & Mavrias, G. (2021). A review on management of end of life tires (Elts) and alternative uses of textile fibers. In *Energies* (Vol. 14, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14030571>
- HENAN MINGJIE ENVIROMENTAL EQUIPMENT CO. LTD. (2019). *MJL-15 WASTE PLASTICS PYROLYSIS SOLUTION-SEMI-CONTINUOUS*. [www.mingjiegroup.com](http://www.mingjiegroup.com)
- InfoRio. (2022). *Más de 26 mil vehículos han sido matriculados en Riobamba*.  
<https://www.inforiocomunicaciondigital.com/post/m%C3%A1s-de-26-mil-veh%C3%ADculos-han-sido-matriculados-en-riobamba>
- MAATE. (2022, December 29). *Instructivo para la aplicación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en la gestión integral de neumáticos fuera de uso*.  
<file:///C:/Users/Diego/Downloads/ACUERDO-MINISTERIAL-Nro.-MAATE-2022-131-rn4zbj.pdf>
- Mayer, P. M., Moran, K. D., Miller, E. L., Brander, S. M., Harper, S., Garcia-Jaramillo, M., Carrasco-Navarro, V., Ho, K. T., Burgess, R. M., Thornton Hampton, L. M., Granek, E. F., McCauley, M., McIntyre, J. K., Kolodziej, E. P., Hu, X., Williams, A. J., Beckingham, B. A., Jackson, M. E., Sanders-Smith, R. D., ... Mendez, M. (2024). Where the rubber meets the road: Emerging environmental impacts of tire wear particles and their chemical cocktails. In *Science of the Total Environment* (Vol. 927). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171153>

- Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca. (2024). *Precios Referenciales para el Acero Reciclado*. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/Precios-referenciales-chatarra-Febrero-2024.pdf>
- Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca. (2025). *Registro de Empresas Reencauchadoras certificadas en el Ecuador*. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/REENCAUCHADORAS-AUTORIZADAS-MAYO.pdf>
- Ortiz, F., & Soto, C. (2018). *Gestión Financiera Empresarial*. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14357/1/Cap.5%20Criterios%20de%20evaluaci%C3%B3n%20financiera.pdf>
- Ortiz, M., & Soto, C. (n.d.). *Gestión Financiera Empresarial*.
- Rojas, D. (2025). *Arrigoni Ambiental NFU\_ Innovación chilena \_ Reciclaje de neumáticos y caucho*. <https://www.tyreandrubberrecycling.com/articles/news/arrigoni-ambiental-nfu-chilean-innovation/>
- Sáez, I. (2008). *Formación de contaminantes y estudio cinética en la pirolisis y combustión de plásticos (PE, PVC y PCP)*. <https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/72b1221a-85be-4a25-a74b-c5eed3e45af4/content>
- Vásquez, S. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN, RECICLAJE Y PROCESAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN LA CIUDAD DE IBARRA*. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7279/1/04%20IND%20097%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Wu, Y., Zhao, Q., Xu, J., Liu, S., Xu, J., Zhu, H., & Li, G. (2025). On the Potential of Waste Tire Pyrolysis in Carbon Mitigation: A Review. *Recycling*, 10(5), 172. <https://doi.org/10.3390/recycling10050172>
- Zhao, Q., Wu, Y., Xu, J., Xu, J., Zhu, H., He, W., & Li, G. (2025). Pathways to Carbon Neutrality: A Review of Life Cycle Assessment-Based Waste Tire Recycling Technologies and Future Trends. In *Processes* (Vol. 13, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr13030741>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Preguntas para la identificación de impactos*

Elemento	Preguntas
Impactos significativos sobre el ambiente socioeconómico y cultural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con creación de peligros para las personas?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con la ocupación de nuevas tierras en zonas de importancia ecológica?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con la generación de procesos de ruptura de redes o alianzas sociales?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse a conflictos con comunidades afectadas por deterioro ambiental?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse a conflictos con autoridades y líderes locales?</li> </ul>
Impactos significativos sobre la salud de la población	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con emisión de efluentes líquidos, gaseosos o combinaciones de ellos?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con generación de ruidos, vibraciones o radiaciones, especialmente en zonas habitadas por personas?</li> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con riesgos asociados a factores humanos (explosiones, derrames de petróleo y productos químicos)?</li> </ul>
Impactos significativos sobre los recursos naturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con afectación de biota nativa de especial valor ambiental?</li> </ul>
Impactos significativos sobre áreas protegidas y de valor ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con alteración de la composición del agua de manera tal que se elimine o modifique la flora o fauna acuática?</li> </ul>
Impactos significativos sobre el paisaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El proyecto podría vincularse con modificaciones del paisaje y la existencia de belleza escénica?</li> </ul>

- 
- ¿El proyecto podría vincularse con la afectación de recursos paisajísticos que sirven de base a la población?
  - ¿El proyecto podría vincularse con la afectación de recursos paisajísticos que sirven de base a la población?
- 

*Nota.* La siguiente tabla se encuentra descrito las preguntas utilizadas para identificar impactos sobre varios factores ambientales, las preguntas se extrajeron de un banco de preguntas desarrollada por (Espinoza, 2007).