

**Obtención de diésel y gasolina a partir de la transformación de polietileno de baja densidad por medio de la degradación térmica conocida como pirolisis**

**Autores**

Andrés Felipe Bosa Cañón - Ingeniería Química

Juan Sebastián Torres Vergara - Ingeniería Química

Jordán Nicolas Soler Naranjo - Ingeniería Química

**Directora**

Luisa Fernanda Carvajal Díaz

Facultad De Ingeniería, Universidad EAN

Bogotá

2024

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **1. Resumen Ejecutivo**

### **2. Introducción**

### **3. Objetivos**

3.1 Objetivo general

3.2 Objetivos específicos

### **4. Descripción del problema**

### **5. Justificación**

### **6. Análisis de requerimientos**

6.1 Análisis general

6.2 Intención del producto

6.3 Parámetros de diseño

6.4 Estimación de características de diseño

### **7. Marco de Referencia**

7.1 Polímeros

7.1.1 Tipos de polímeros

7.1.2 Clasificación de polímeros

7.2 Polietileno de baja densidad

7.2.1 Características y propiedades del polietileno de baja densidad (LDPE)

7.2.2 Usos y aplicaciones del polietileno de baja densidad en la industria

7.3 Estructura del polietileno de baja densidad

## 7.4 Pirólisis

### 7.4.1 Pirolisis en el tratamiento de residuos

## 7.5 Destilación

### 7.5.1 Principios de la destilación simple

### 7.5.2 Procedimiento de la destilación simple

### 7.5.3 Aplicaciones de la destilación simple

### 7.5.4 Limitaciones de la destilación simple

## 7.6 Gasolina y diésel

### 7.6.1 Origen y composición

### 7.6.2 Propiedades y uso

### 7.6.3 Impacto ambiental

## 7.7 Cromatografía

### 7.7.1 Cromatografía de gases

## 7.8 Métodos de análisis cromatográfico DRO y GRO

### 7.8.1 Cromatografía de DRO Y GRO

### 7.8.2 Procedimientos analíticos

### 7.8.3 Aplicaciones y significancia

## **8. Análisis de restricciones**

### 8.1 Ambiental

#### 8.1.1 Contaminación y emisiones

#### 8.1.2 Disposición de residuos

## 8.2 Económicas

### 8.2.1 Inversión inicial

## 8.3 Legales

## 8.4 Salud y seguridad

## 8.5 Socioculturales

## 8.6 Política

# 9. Metodología

## 9.1 Materia Prima

### 9.2.1 Obtención

### 9.2.2 Tratamiento

## 9.2 Equipos

### 9.2.1 Reactor de pirólisis y montaje

### 9.2.2 Montaje para destilación simple

## 9.3 Análisis cromatográfico

# 10. Análisis económico

## 10.1 Costos fijos

## 10.2 Costos variables

## 10.3 Proyección a un año

# 11. Resultados

## 11.1 Desarrollo del problema

## 11.2 Materia prima

### 11.3 Montaje para la obtención del aceite pirolítico

#### 11.3.1 Reactor de pirolisis

#### 11.3.2 Tubería

#### 11.3.3 Condensador

#### 11.3.4 Salida de emisión de gases

### 11.4 Proceso de obtención de aceite pirolítico

#### 11.4.1 Datos Obtenidos

#### 11.4.2 Análisis de resultados

## **12. Conclusiones**

## **13. Referencias**

## **1. Resumen Ejecutivo**

Este proyecto se centra en la aplicación de la pirólisis, un proceso de transformación química y térmica, con el objetivo principal de producir combustibles como diésel y gasolina a partir del polietileno de baja densidad (PEBD). La selección del PEBD como materia prima se basa en su capacidad para alcanzar fácilmente el punto de ebullición necesario para iniciar la transformación mediante pirólisis.

La iniciativa surge de la identificación de la problemática asociada con la contaminación por residuos sólidos, en particular los residuos plásticos de un solo uso, que representan un desafío significativo para el medio ambiente y la salud pública. Estos residuos plásticos son una fuente creciente de contaminación y representan una carga para los sistemas de gestión de residuos.

Este proyecto no solo busca ayudar con el problema de los residuos plásticos, sino que también quiere encontrar una forma de usar esos residuos para crear combustibles que puedan ser usados. Cuando se convierte el polietileno de baja densidad en diésel y gasolina, se está reduciendo la necesidad de depender de los combustibles fósiles como el petróleo. Esto significa que se está tomando una dirección más sostenible y abriendo nuevas opciones para obtener energía. Es como si se estuviera reciclando plástico para obtener combustible en lugar de simplemente desecharlo.

## **2. Introducción**

El impacto generado en los últimos años con la acumulación de residuos sólidos es cada vez más evidente en los ecosistemas, acuáticos y terrestres, afectando directamente a la salud humana. En Colombia, según los datos más recientes proporcionados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en 2020 se generaron 32,580 toneladas

diarias de residuos sólidos, un aumento del 0,89% con respecto al año 2019, donde el plástico participa con una presencia del 26 % de los residuos. (DANE, 2022)

Centrándose directamente en las cifras referentes a los residuos plásticos, se consumen aproximadamente 1250 000 toneladas de plástico al año, cantidad de la cual el 75 % termina en alguno de los rellenos sanitarios disponibles para su disposición en lo largo y ancho del territorio nacional, rellenos que algunos ya están en sobreexplotación en su capacidad de almacenamiento. (GREENPEACE, 2023)

La investigación se enfoca en un tipo de residuo plástico conocido como polietileno de baja densidad (PEBD), desglosándose a rasgos más específicos se habla de la mayoría de los envases utilizados y productos de un solo uso, como son bolsas de supermercado, envolturas de papas fritas, bolsas de leche, empaques de pan, entre muchos otros. Las cantidades de este (PEBD), aumentan cuando se tiene en cuenta que su vida útil es mínima y su peso no le permite ser tenido en cuenta como otros plásticos cuando se habla de reciclaje.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar el proceso artesanal para obtener diésel y gasolina a partir de plásticos que se caracterizan como polietileno de baja densidad (PEBD) mediante el proceso de pirolisis para determinar al final la obtención de diésel y gasolina.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Analizar los productos de reacción a través de cromatografía de gases para su caracterización.

Evaluar la eficacia técnica del proceso para alcanzar una conversión cercana al 90 %.

Evaluar la calidad y funcionalidad del combustible obtenido mediante una comparación con productos comerciales establecidos.

#### **4. Descripción del problema**

Actualmente el plástico en general es un amplio grupo de polímeros que ha desplazado el uso de otro tipo de materiales como la cerámica o la madera, puesto que su resistencia y durabilidad resaltan sobre el resto, pero a raíz del consumo excesivo del mismo y su mala disposición se ha generado una de las mayores problemáticas ambientales.

En Colombia, se utiliza una preocupante cantidad de 1.250.000 toneladas de plástico al año, y según Greenpeace, el 74% de los envases plásticos utilizados en el país terminan en vertederos, lo que agrava la problemática ambiental en aumento. Cada ciudadano colombiano desecha alrededor de 24 kilos de plástico cada año, lo que empeora aún más la situación. (El tiempo, 2023)

El 54% de los plásticos que utilizamos se destinan a envases y embalajes, incluyendo productos alimenticios, de higiene, aseo, industriales y lubricantes. Esta proporción ha experimentado un notable incremento debido a los nuevos hábitos de consumo surgidos durante la pandemia del Covid-19, lo que refleja la arraigada cultura consumista en nuestra sociedad.

El plástico se encuentra omnipresente en nuestra vida cotidiana: pitillos, botellas, bolsas, envoltorios, cubiertos desechables y una variedad de otros artículos. La situación es alarmante, ya que alrededor del 56% de los plásticos que empleamos en Colombia son de un solo uso y, eventualmente, acaban en los rellenos sanitarios, alcantarillados y fuentes hídricas.



Detener esta contaminación es una responsabilidad compartida entre autoridades, fabricantes, distribuidores y consumidores. Uniendo fuerzas, podemos transformar nuestra realidad. Esto nos demuestra una creciente problemática a nivel nacional de la cual hacen parte todos y cada uno de los habitantes a lo largo del territorio colombiano (Greenpeace, s.f.)

La búsqueda de alternativas y métodos de mitigación a este problema son temas que le conciernen a todos, la disposición y aprovechamiento de este tipo de residuos tiene que pasar de ser una problemática a una oportunidad para la generación de nuevos productos o servicios sin dejar de lado que las alternativas generen empleo y rentabilidad económica.

## **5. Justificación**

La gestión del polietileno de baja densidad (PEBD) es crucial en la lucha contra la creciente contaminación por residuos plásticos que enfrentamos hoy. A menudo, este tipo de plástico se pasa por alto hasta que su acumulación se convierte en un problema crítico que demanda atención inmediata.

Al abordar este desafío, surge la pregunta fundamental de ¿cómo podemos darle una segunda vida a este tipo de desechos y aprovechar su potencial al máximo? Para entender mejor la magnitud de este problema en nuestro país, la organización World Wildlife Fund (WWF) estima que en Colombia se generan anualmente alrededor de 700.500 toneladas de envases y empaques plásticos, de los cuales solo el 30 % se recicla para su reutilización en nuevos productos (WWF, 2023).

En este contexto, la pirólisis emerge como una solución prometedora para abordar la gestión del polietileno de baja densidad (PEBD) de manera más efectiva. Esta técnica ofrece la oportunidad no solo de prolongar la vida útil de estos desechos y retirarlos de la circulación, sino también de obtener combustibles fósiles mediante un proceso de descomposición térmica controlada. Así, la pirólisis se presenta como una alternativa

sostenible para el tratamiento de estos residuos plásticos, ejemplificando un enfoque inteligente y responsable hacia su gestión y reutilización.

Según el doctor Felipe Calderón Sáenz (2013), en cuanto al impacto ambiental de los combustibles derivados de residuos plásticos, destaca su alta pureza por el proceso de refinación al que se someten. Durante esta etapa, se eliminan la mayoría de las impurezas, como los heteroátomos (azufre, cloro, nitrógeno, fósforo y flúor), así como los metales pesados. En consecuencia, la combustión de estos combustibles resultará en la emisión exclusiva de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, al igual que los combustibles limpios ampliamente reconocidos.

## **6. Análisis de requerimientos**

### **6.1 Obtención de aceite pirolítico**

En la primera fase del proyecto de obtención de diésel y gasolina a partir de polietileno de baja densidad mediante el proceso conocido como pirólisis, se requiere la construcción de un horno de pirólisis para la transformación del plástico en aceite pirolítico. Para la fabricación del mismo, es necesario diseñar un reactor y un condensador en serie para que el proceso sea adecuado y produzca los resultados esperados.

#### **6.1.1 Reactor**

Para la construcción del reactor es necesario un balde metálico con su respectiva tapa metálica, la cual debe tener un orificio o entrada para poder ensamblarse con un tubo de acero, que permitirá el paso del gas de combustión de los plásticos dentro del reactor. La tapa debe ajustarse al balde para que el reactor se selle adecuadamente, asegurando que el proceso de combustión se realice en ausencia de oxígeno.

### **6.1.2 Condensador**

El condensador se construye a partir de cinco láminas de acero, con la parte superior expuesta para que pueda ser cargada con agua fría y se produzca el proceso de condensación del gas de combustión. Dos láminas de acero (una en cada extremo) son perforadas para soldar un tubo de acero por donde pasa el gas obtenido en el reactor. En la salida del tubo se acopla y suelda un accesorio de hierro galvanizado (conocido como T), donde una salida es para el aceite pirolítico y la otra va conectada a una manguera que conduce el residuo gaseoso hacia una fuente de agua, que luego se envía a una planta de tratamiento para su disposición y recuperación.

### **6.2 Destilación del aceite pirolítico para la obtención de diésel y gasolina**

En la etapa de destilación, donde se realiza la separación de los combustibles por puntos de ebullición, se utiliza un montaje con equipos de laboratorio para llevar a cabo el proceso correctamente. Los instrumentos necesarios para este montaje son: un balón de 1000 ml, un condensador de bolas, una bomba, un vaso de precipitados de 1000 ml, un mechero, un soporte universal, mangueras de silicona y un termómetro de mercurio. El montaje adecuado de todos estos equipos es esencial para obtener los dos tipos de combustible.

### **6.3 Análisis cromatográfico de las muestras**

En el último escalón del proyecto, para sacar conclusiones reales y tangibles, se realiza un análisis cromatográfico para encontrar las propiedades específicas de los combustibles obtenidos, respecto a los combustibles comerciales, para que de esta manera puedan ser comparados, y así encontrar el valor fisicoquímico de los combustibles obtenidos

convirtiéndolos en un alternativa real y sostenible a comparación de los combustibles tradicionales.

#### **6.4 Análisis general**

El proyecto de pirólisis de polietileno de baja densidad (PEBD) busca implementar un proceso de descomposición térmica para transformar los residuos plásticos en productos útiles, como combustibles tales como gasolina y diésel. El éxito del proyecto se medirá en términos de eficiencia operativa, calidad de los productos finales y su capacidad para cumplir con las regulaciones ambientales pertinentes. Además, se valorará la capacidad del proyecto para generar beneficios económicos y de sostenibilidad.

#### **6.5 Intención del producto**

La intención del producto es desarrollar un proceso eficiente y sostenible para la conversión de residuos plásticos en productos útiles y comercializables. El objetivo es obtener combustibles alternativos de alta calidad, así como otros materiales con valor agregado, contribuyendo así a la reducción de la acumulación de desechos plásticos y fomentando la economía circular.

#### **6.6 Parámetros de diseño**

La verificación de los parámetros de diseño implica un análisis exhaustivo de varios factores, como la temperatura óptima de operación, el tiempo de residencia del material en el reactor, entre otros. Estos parámetros son esenciales para garantizar la eficacia y eficiencia del proceso de pirólisis, así como la calidad y rendimiento de los productos finales.

## **6.7 Estimación de características de diseño**

Se estima que el producto final de la pirólisis de PEBD incluirá combustibles líquidos, gases y posiblemente subproductos sólidos. Entre las características de diseño están la potencia requerida para el funcionamiento del sistema de pirólisis, el rendimiento esperado en cantidad de plástico procesado por unidad de tiempo, la composición y pureza de los productos obtenidos y el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad establecidos por regulaciones ambientales.

## **7. Marco de referencia**

### **7.1 Polímeros**

Los polímeros son macromoléculas formadas por la repetición de una o varias unidades químicas llamadas monómeros a lo largo de una cadena. Puedes imaginar un collar de perlas donde cada perla representa un monómero y el collar completo sería el polímero.

Aunque no los percibamos de inmediato, los polímeros están presentes en nuestra vida diaria. Por ejemplo, el poliuretano es uno de los polímeros más versátiles, utilizado en materiales deportivos, calzado, trajes de baño y grandes estructuras de ingeniería. La ropa que llevamos suele contener poliésteres y poliamidas, y los policarbonatos son comunes en las latas de conserva. (zschimmer y schwarz, 2019)

#### **7.1.1 Tipos de Polímeros**

Dado que los polímeros se utilizan en aplicaciones muy diversas, sus características varían considerablemente, y muchas de estas diferencias se deben a su origen. A continuación, se explica la diferencia entre polímeros naturales y artificiales. (zschimmer y schwarz, 2019)

### **Polímeros Naturales**

No todos los polímeros son creados por el ser humano. Algunos, como el caucho y el algodón, son productos naturales usados desde tiempos antiguos. Sin embargo, los polímeros naturales presentan problemas, como ser quebradizos y deformarse fácilmente. Estas propiedades, derivadas de sus características estructurales, se mejoran mediante un proceso químico conocido como vulcanización, que entrecruza las cadenas de poliisopreno. (zschimmer y schwarz, 2019)

### **Polímeros Artificiales**

Los polímeros artificiales, por otro lado, se sintetizan en laboratorios y se utilizan masivamente en diversas aplicaciones debido a su bajo costo de producción. Sus propiedades y estructuras químicas son ideales, ya que han sido diseñados específicamente para cumplir funciones determinadas. (zschimmer y schwarz, 2019)

#### **7.1.2 Clasificación de los Polímeros**

Los polímeros pueden presentar distintas propiedades según su estructura química, tamaño, distribución de masas moleculares y grado de entrecruzamiento de las cadenas. Esta versatilidad permite múltiples formas de clasificarlos. Por ejemplo, se pueden clasificar según:

- **Tipo de monómeros:** pueden ser homopolímeros (un solo tipo de monómero) o copolímeros (dos o más tipos de monómeros).
- **Formación de las cadenas poliméricas:** pueden formarse mediante polimerización, policondensación o poliadición.

- **Tipos de enlaces:** pueden tener enlaces químicos o estar unidos por fuerzas intermoleculares.
- **Materiales constituyentes:** se clasifican en termoplásticos, elastómeros o termoestables. (Zschimmer y Schwarz, 2019)

## 7.2 Polietileno de baja densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un tipo de plástico que puede ser transparente o translúcido. Se destaca por su flexibilidad, resistencia a sustancias químicas y capacidad de impermeabilización. Este material se utiliza en la fabricación de diversos productos, como bolsas de supermercado, envoltorios y láminas de plástico, materiales de empaque flexibles y componentes moldeados por inyección. (Rojas, 2023)

### 7.2.1 Características y propiedades del polietileno de baja densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad (PEBD) se utiliza en una amplia gama de sectores, desde contenedores y envases hasta componentes electrónicos y juguetes, gracias a sus propiedades únicas. Entre ellas se incluyen:

- **Punto de fusión:** entre 105 y 115°C.
- **Densidad:** entre 0.910 y 0.940 g/cm<sup>3</sup>.
- **Resistencia química:** buena resistencia a alcoholes, álcalis diluidos y ácidos, pero limitada resistencia a hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aceites minerales, agentes oxidantes y halogenados.
- **Resistencia a la temperatura:** soporta temperaturas de hasta 80°C de forma continua y 95°C durante períodos cortos.
- **Costo:** es un polímero de bajo costo con buena procesabilidad.
- **Resistencia al impacto:** alta resistencia al impacto a bajas temperaturas y buena resistencia a la intemperie.

- **Propiedades eléctricas:** excelentes propiedades aislantes.
- **Absorción de agua:** muy baja absorción de agua.
- **Transparencia:** transparente en forma de película delgada. (Rojas, 2023)

**Tabla 1** Características del polietileno de baja densidad

CARACTERISTICAS	LDPE
Densidad	0,910-0,940 g/cm <sup>3</sup>
Estructura	-(CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -)n
Transparencia	Alta transparencia
Dureza	Baja
Flexibilidad	Alta
Temperatura de fusión	105°C
Aplicaciones	Bolsas, envases y recipientes

### 7.2.2 Usos y Aplicaciones del Polietileno de Baja Densidad en la Industria

El polietileno de baja densidad (LDPE) es valorado por sus características que lo hacen ideal para aplicaciones como bolsas para alimentos, envases impermeables y otros materiales de embalaje.

Su baja densidad y alta resistencia permiten que las láminas delgadas de LDPE soporten cargas considerables, como en las bolsas de supermercado o los anillos que agrupan seis latas de refresco. Estas cualidades, junto con su bajo costo y capacidad de reciclaje, hacen del LDPE una opción destacada para diversas aplicaciones que requieren producción en gran volumen. Entre las aplicaciones típicas del polietileno de baja densidad se encuentran:

- Contenedores para jugo
- Película transparente
- Diversos tipos de bolsas
- Bandejas
- Anillos para agrupar seis latas de refresco
- Tuberías
- Prótesis



- Botellas para lavado
- Tapas para helado
- Procesos de moldeo por extrusión
- Laminados

Estas aplicaciones reflejan la versatilidad y eficacia del LDPE en una amplia gama de usos industriales y de consumo. (Rojas, 2023)

### **7.3 Estructura del polietileno de baja densidad**

La configuración química del Polietileno se representa como  $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ . Esta composición molecular comprende dos átomos de carbono y cuatro átomos de hidrógeno, los cuales se unen mediante enlaces covalentes. Los enlaces C-C (carbono- carbono) y C-H (carbono-hidrogeno) poseen una fuerza de 347 y 414 KJ/mol respectivamente. Esta estructura básica puede repetirse de manera infinita para formar el Polietileno.

La cantidad de veces que se replica esta estructura básica depende del tipo de catalizador utilizado en la reacción química, así como de la temperatura y la presión.

El Polietileno de baja densidad se caracteriza por ser un polímero de cadena ramificada. Su obtención se lleva a cabo mediante la polimerización del etileno a altas presiones utilizando el mecanismo de radicales libres. Presenta sustituyentes alquilo o pequeñas ramificaciones en la cadena, las cuales surgen durante el proceso de síntesis. Este polímero posee una densidad que varía entre 0.910 y 0.925 g/cm<sup>3</sup>, siendo además incoloro, inodoro y no tóxico. Dentro de la categoría del Polietileno de baja densidad se encuentran distintas variantes, tales como el Polietileno lineal de baja densidad, el Polietileno de muy baja densidad y el Etil-Vinil-Acetato. (RoyMaplast, 2020)

### **7.4 Pirolisis**

La pirólisis es un proceso químico en el cual la materia orgánica se descompone debido a las altas temperaturas en ausencia de oxígeno o de otros reactivos, con la posible excepción del vapor de agua. La carbonización es una forma extrema de pirólisis que deja carbono como único residuo. La pirólisis es un tipo específico de termólisis. Un ejemplo de pirólisis es la destrucción de neumáticos usados, donde el caucho se descompone por medio del calor sin presencia de oxígeno. (Quimica.es, 2006)

#### **7.4.1 Pirólisis en el Tratamiento de Residuos**

El uso de la pirólisis para tratar residuos ha ganado popularidad en la industria, junto con otras tecnologías avanzadas de tratamiento. En lugar de eliminar los residuos, la pirólisis los convierte en carbón, agua, otros residuos líquidos, partículas, metales pesados y cenizas. Estos subproductos pueden ser tóxicos y liberar sustancias al aire que varían desde relativamente inofensivas hasta altamente tóxicas, reduciendo el volumen total de residuos. Este proceso destructivo impide el reciclaje o la reutilización de los materiales.

Además, la pirólisis puede servir como un método térmico para disminuir el volumen de los residuos y generar combustibles como subproductos. También se ha empleado para producir combustible sintético para motores diésel a partir de residuos plásticos. (Quimica.es, 2006)

### **7.5 Destilación**

La destilación es una técnica antigua y ampliamente empleada para separar y purificar líquidos. Este método se basa en las diferencias en los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla. En especial, la destilación simple es eficaz para separar líquidos que tienen una diferencia considerable en sus puntos de ebullición.

#### **7.5.1 Principios de la destilación simple**

La destilación simple funciona según el principio de que, al calentar una mezcla de líquidos, el componente con el punto de ebullición más bajo se evapora primero. Este vapor se conduce a través de un condensador, donde se enfría y se transforma nuevamente en líquido, para luego ser recogido en un recipiente diferente. (McCabe, Smith & Harriott, 2005).

### **7.5.2 Procedimiento de la destilación simple**

El proceso de destilación simple consta de varios pasos esenciales:

- **Calentamiento de la Mezcla:** La mezcla líquida se coloca en un matraz de destilación y se somete a calentamiento.
- **Vaporización:** El componente con el punto de ebullición más bajo se evapora primero.
- **Condensación:** El vapor se transporta a un condensador, donde se enfría y se convierte de nuevo en líquido.
- **Recolección:** El líquido condensado se recoge en un recipiente aparte.

### **7.5.3 Aplicaciones de la destilación simple**

La destilación simple se emplea frecuentemente para purificar líquidos volátiles y separar componentes de mezclas sencillas. Es una técnica comúnmente utilizada en laboratorios de química, así como en las industrias farmacéutica y petroquímica. (Perry & Green, 1997).

### **7.5.4 Limitaciones de la destilación simple**

Aunque la destilación simple es eficaz para separar mezclas cuyos componentes tienen diferencias notables en sus puntos de ebullición, no es adecuada para líquidos con puntos de ebullición muy próximos. En esos casos, se necesitan técnicas más avanzadas, como la destilación fraccionada.

## 7.6 Gasolina y diesel

La gasolina y el diésel son los combustibles más comunes en el transporte terrestre. Ambos provienen del petróleo y poseen características químicas y propiedades distintas, lo que afecta su uso y eficiencia en diferentes tipos de motores.

### 7.6.1 Origen y composición

La gasolina y el diésel son resultados del proceso de refinación del petróleo crudo. Este proceso involucra la destilación fraccionada y múltiples etapas de tratamiento químico para producir productos con las propiedades requeridas.

**Gasolina:** La gasolina es una combinación de hidrocarburos ligeros, típicamente compuesta de moléculas que contienen entre 5 y 12 átomos de carbono. Se produce principalmente a través de la destilación del petróleo y la reformación catalítica. Sus componentes principales son alcanos, cicloalcanos y compuestos aromáticos (Speight, 2014).

**Diésel:** El diésel, por otro lado, es una mezcla de hidrocarburos más pesados, con moléculas que contienen entre 12 y 20 átomos de carbono. Se obtiene mediante la destilación del petróleo y la hidrosulfuración. Los componentes del diésel incluyen parafinas, naftenos y algunos compuestos aromáticos (Gary, Handwerk, & Kaiser, 2007).

### 7.6.2 Propiedades y usos

Las propiedades físicas y químicas de la gasolina y el diésel determinan su uso específico en motores de combustión interna.

**Gasolina:** Tiene un alto índice de octano, ideal para motores de encendido por chispa. Su volatilidad permite una combustión rápida y eficiente. La gasolina tiene un rango de puntos de ebullición de aproximadamente 30 °C a 215 °C (Heywood, 1988). Sin embargo, su densidad energética es menor en comparación con el diésel.

**Diésel:** Posee un alto índice de cetano, crucial para motores de encendido por compresión. La mayor densidad energética del diésel ofrece un mejor rendimiento en términos de kilometraje. Su rango de puntos de ebullición es de aproximadamente 180 °C a 360 °C (Mollenhauer & Tschoeke, 2010). Además, aunque el diésel emite menos dióxido de carbono por unidad de energía producida, genera más emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas.

### 7.6.3 Impacto ambiental

Ambos combustibles afectan significativamente al medio ambiente, aunque varían en los tipos y cantidades de contaminantes que emiten.

**Gasolina:** La combustión de gasolina genera dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno. La implementación de tecnologías como los convertidores catalíticos ha contribuido a reducir algunas de estas emisiones (Knothe, 2010).

**Diésel:** Los motores diésel son conocidos por sus emisiones de partículas finas y óxidos de nitrógeno. No obstante, con la adopción de tecnologías avanzadas de tratamiento de gases de escape, como los filtros de partículas diésel y los sistemas de reducción catalítica selectiva, se ha mejorado la calidad de las emisiones (Stone, 2012).

## 7.7 Cromatografía

La cromatografía es una técnica ampliamente utilizada en diversas ramas de la ciencia para la separación, identificación y determinación de componentes químicos en mezclas complejas. Ningún otro método de separación ofrece la misma potencia y versatilidad en su aplicación. Los procesos cromatográficos abarcan una variedad de técnicas que se basan en

las propiedades físicas de ciertos materiales. Estas propiedades, al interactuar con las sustancias o mezclas de sustancias, permiten descomponerlas y analizar sus componentes, en función de sus características químicas. (CONICET, 2010)

Con el avance tecnológico, las técnicas cromatográficas se han diversificado y mejorado notablemente, aumentando su capacidad para resolver mezclas de distinta naturaleza. Este progreso ha ampliado las posibilidades de aplicación de la cromatografía en campos tan variados como la química, la biología, la medicina, la farmacología y la ciencia de materiales, entre otros. Las mejoras en las columnas cromatográficas, detectores y sistemas de control han permitido alcanzar una mayor precisión, sensibilidad y velocidad en los análisis. (CONICET, 2010)

### **7.7.1 Cromatografía de gases**

La cromatografía de gases es probablemente la técnica de más amplia utilización; ninguna técnica analítica puede ofrecer su capacidad de separación o su sensibilidad a la hora de analizar compuestos volátiles. Por otra parte, el hecho de que con esta técnica las mezclas sean separadas en fase gaseosa, establece los límites de su utilización, que estarán marcados fundamentalmente por la estabilidad térmica de los compuestos a separar. Por lo general, la utilización de la cromatografía de gases está restringida a la separación de compuestos con un peso molecular menor de 1000 a una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 400 EC; dentro de estos límites, como ya se ha mencionado, la única limitación existente será la estabilidad térmica de la muestra. (MNCN, 2011)

Para realizar una separación mediante cromatografía de gases, se inyecta una pequeña cantidad de la muestra a separar en una corriente de un gas inerte a elevada temperatura; esta corriente de gas, atraviesa una columna cromatográfica que separará los componentes de la

mezcla por medio de un mecanismo de partición (cromatografía gas líquido), de adsorción (cromatografía gas sólido) o, en muchos casos, por medio de una mezcla de ambos. Los componentes separados, emergerán de la columna a intervalos discretos y pasarán a través de algún sistema de detección adecuado, o bien serán dirigidos hacia un dispositivo de recogida de muestras. (MNCN, 2011)

## **7.8 Metodos de analisis cromatografico DRO Y GRO**

La cromatografía es una técnica fundamental en la química analítica que se utiliza para separar, identificar y cuantificar los componentes de una mezcla. En el ámbito ambiental, los métodos de cromatografía destinados al análisis de DRO (Compuestos Orgánicos en el Rango del Diésel) y GRO (Compuestos Orgánicos en el Rango de la Gasolina) son esenciales para evaluar la contaminación por hidrocarburos en suelos y aguas subterráneas.

### **7.8.1 Cromatografía de DRO y GRO**

Los métodos de cromatografía aplicados a DRO y GRO difieren principalmente en los tipos de compuestos analizados y en las técnicas específicas empleadas.

**DRO (Compuestos Orgánicos en el Rango del Diésel):** Estos son hidrocarburos alifáticos y aromáticos con puntos de ebullición que oscilan entre aproximadamente 170 °C y 400 °C, correspondientes a compuestos con entre 10 y 28 átomos de carbono (Meyer, 2005). La cromatografía de gases (GC) es el método más utilizado para analizar DRO, donde la muestra se introduce en una columna capilar para la separación y detección de componentes, típicamente mediante un detector de ionización de llama (FID) (Keith, 2017).

**GRO (Compuestos Orgánicos en el Rango de la Gasolina):** Estos hidrocarburos tienen puntos de ebullición que van aproximadamente desde 40 °C hasta 170 °C, abarcando compuestos con entre 4 y 12 átomos de carbono (Meyer, 2005). Al igual que con DRO, la GC

es la técnica predominante para analizar GRO. Debido a la volatilidad de los componentes de la gasolina, la preparación de la muestra puede implicar técnicas como la purga y trampa para concentrar los compuestos volátiles antes de la inyección en la GC (Hewitt, 2008).

### **7.8.2 Procedimientos Analíticos**

El análisis de DRO y GRO mediante cromatografía de gases sigue varios pasos esenciales:

- Muestreo: Obtención de muestras de suelo o agua subterránea potencialmente contaminadas.
- Preparación de la Muestra: Para DRO, esto puede implicar la extracción con solventes orgánicos, mientras que para GRO puede incluir técnicas de concentración de volátiles.
- Inyección y Separación: Las muestras preparadas se inyectan en una columna cromatográfica, donde los componentes se separan según su volatilidad y afinidad con la fase estacionaria.
- Detección: Los componentes separados se detectan, generalmente mediante FID, y se cuantifican comparándolos con estándares conocidos (Keith, 2017).

### **7.8.3 Aplicaciones y Significancia**

Los métodos de cromatografía para DRO y GRO son fundamentales en estudios ambientales para evaluar la contaminación por hidrocarburos, determinar la magnitud de los derrames de petróleo y supervisar la rehabilitación de sitios contaminados. La precisión y fiabilidad de estos métodos son cruciales para la toma de decisiones informadas en la protección del medio ambiente y la salud pública (Meyer, 2005).

## **8. Análisis de restricciones**



En esta sección se abarcarán las restricciones encontradas que se podrían presentar al desarrollar el proceso de la pirolisis de polietileno de baja densidad (PEBD).

## **8.1 Ambiental:**

**8.1.1 Contaminación y emisiones:** Durante el proceso de pirólisis, que involucra la descomposición térmica de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, pueden surgir diversas emisiones que requieren una gestión adecuada para evitar su liberación al medio ambiente y su transformación en gases de efecto invernadero.

**8.1.2 Disposición de residuos:** Es importante reconocer que, como en cualquier proceso industrial, es poco probable lograr una transformación del 100%. Por lo tanto, en la pirólisis se generan residuos como gases residuales y sólidos carbonizados. Estos residuos deben ser tratados adecuadamente para su posterior reutilización o disposición segura, en cumplimiento de los protocolos establecidos por las autoridades sanitarias correspondientes.

## **8.2 Económicas:**

**8.2.1 Inversión inicial:** Pese a que la obtención de la materia prima es en efecto bastante económica y la pirolisis tiene el potencial para generar ingresos por medio de la obtención de combustibles, el reto principal para el desarrollo del proceso radica en la inversión inicial para dar inicio a la operación, haciendo referencia a que los costos asociados con la tecnología para la realización de la pirolisis pueden ser significativos, lo que puede afectar la viabilidad económica de los proyectos.

## **8.3 Legales:**

Actualmente, no se encuentran restricciones legales que puedan afectar el desarrollo del proyecto si tenemos en cuenta el Normograma del Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia actualizado en 2022, donde respalda el aprovechamiento de residuos plásticos y las alternativas sostenibles que puedan generarse a partir del uso de estos, más concretamente en el Artículo 2 Literal 1 que habla sobre el aprovechamiento de residuos plásticos donde el congreso decreta que esta reutilización puede ser por medio de “Procesos mediante los cuales los residuos de material plástico se recuperan, en su orden, por medio de la reutilización, el reciclaje, la valorización energética, y/o el coprocesamiento, o mediante cualquier otra tecnología que permita su reincorporación al ciclo productivo y/o generando beneficios sanitarios, ambientales, sociales o económicos” (Congreso de Colombia, 2022)

#### **8.4 Salud y seguridad:**

Como ya ha sido resaltado y mencionado anteriormente, el proceso de la pirolisis va a tener como residuo algunas emisiones que no serán tóxicas por lo explicado en la justificación donde se trae a colación la refinación previa de las materias primas a utilizar en el proceso. En todo caso, se deben tomar todas las medidas de seguridad necesarias a la hora de la realización de la pirolisis para evitar al máximo la respiración de estos gases residuales, evitando así posibles reacciones alérgicas o problemas respiratorios.

#### **8.5 Socioculturales:**

Siempre va a representar un reto el hecho de introducir una nueva tecnología o alternativa en una sociedad que suele generar mucha fidelización con las empresas más grandes y comerciales en la industria, esto llevará a encontrarse con resistencia debido a diferencias culturales, creencias locales o preocupaciones sobre la seguridad y la salud. Es importante tener en cuenta diferentes perspectivas y opiniones para garantizar una aceptación adecuada y una implementación exitosa del proyecto.

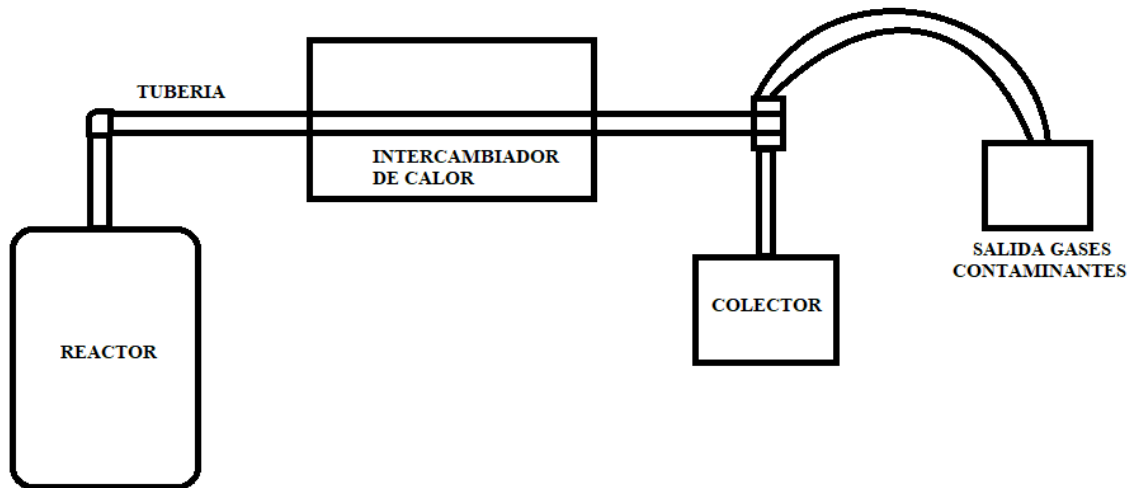
## **8.6 Política**

Una de las restricciones más grandes que tiene el proyecto es la restricción política. Se tiene en cuenta que las políticas del gobierno actual tienen como objetivo o prioridad una transformación energética, donde se busca dejar atrás la producción y el uso de los combustibles fósiles, lo que representa una amenaza evidente para la realización del proyecto, sería necesario realizar una buena justificación del por qué, el combustible obtenido, a pesar de ser un combustible fósil, tiene características para ser un combustible ambientalmente sostenible.

## **9. Metodología**

El trabajo se desarrolló con base en la metodología de investigación teórica y experimental basándonos en la aplicación de conceptos previos aprendidos durante el pregrado.

La metodología iniciará con un proceso de pirolisis de del polietileno de baja densidad genera como resultado un aceite pirolítico a partir de plástico reciclado, el proceso de pirolisis debe contar con un reactor con la capacidad de soportar altas temperaturas, para esto se creará un reactor con componentes en acero y aluminio, contará con 4 partes fundamentales, reactor con capacidad suficiente para almacenar aproximadamente 10 kg de materia prima, tubería para el desplazamiento de gases, Intercambiador de calor para condensar el aceite pirolítico, una salida segura de gases contaminantes y colector de muestra.

**Figura 1.** Esquema del prototipo construido

El proceso de pirolisis del polietileno de baja densidad genera como resultado un aceite pirolítico que luego será sometido a una destilación simple por puntos de ebullición teniendo como productos principales la gasolina y el diésel, sin despreciar el combustible sólido obtenido, de estos productos se tomarán muestras significativas que luego serán sometidas a análisis cromatográficos para corroborar que en efecto se obtienen los productos deseados.

## 9.1 Materia prima

### 9.1.1 Obtención

Los proveedores principales de nuestra materia prima (PEBD) serán nuestros hogares y empresas recolectoras de material reciclable teniendo en cuenta que solo es necesario esta clase de plástico.

### 9.1.2 Tratamiento

La materia prima será sometida a una limpieza y secado y es necesario para que posteriormente sea triturado hasta ser llevado a el tamaño ideal de manera que se logre compactar lo mejor posible en nuestro reactor.

## **9.2 equipos**

### **9.2.1 reactor de pirolisis y montaje**

Se cuenta con un reactor donde se compacta el polietileno de baja densidad previamente tratado, el cual llegara a una temperatura deseada de 300°C para la descomposición que llevara nuestra materia prima aun cambio de fase que va de solido a gaseoso; este gas viajara por una tubería que conducirá el gas hasta un condensador donde obtendremos el aceite pirolítico.

### **9.2.2 montaje para destilación simple**

El aceite pirolítico obtenido se someterá a diferentes temperaturas para obtener por separado diésel y gasolina teniendo en cuenta el punto de ebullición de cada uno manejando intervalos de temperaturas para una mayor precisión

## **9.3 Análisis cromatográfico**

Para realizar el análisis cromatográfico de los combustibles obtenidos y los comerciales, primero se debe seleccionar la técnica cromatográfica adecuada, en este caso en particular, la cromatografía de gases (GC) es ideal debido a su capacidad para separar y analizar compuestos volátiles y semi-volátiles presentes en los combustibles. Inicialmente, se deben preparar las muestras de combustible, asegurándose de que estén libres de impurezas y adecuadamente diluidas si es necesario. Luego, se selecciona la columna cromatográfica

apropiada, que suele ser una columna capilar con una fase estacionaria específica para la separación de hidrocarburos y compuestos relacionados.

El siguiente paso implica la optimización de las condiciones del cromatógrafo de gases. Se debe establecer un programa de temperatura adecuado, que permita una separación eficiente de los componentes del combustible. Generalmente, se utiliza un programa de temperatura que comienza a una temperatura baja y aumenta gradualmente, permitiendo la elución de compuestos en función de su volatilidad. El gas portador, comúnmente helio o nitrógeno, debe fluir a una velocidad constante para asegurar una separación reproducible. Además, se debe calibrar el detector (como el detector de ionización de llama, FID) con estándares conocidos para cuantificar con precisión los componentes de los combustibles.

Finalmente, se realiza la inyección de las muestras en el cromatógrafo de gases. Cada muestra se introduce en el sistema mediante un inyector, preferentemente en modo split para manejar la concentración de la muestra. Durante la corrida cromatográfica, los componentes de cada combustible se separan y se detectan, produciendo un cromatograma. Los datos obtenidos se analizan comparando los tiempos de retención y las áreas de los picos con los estándares previamente calibrados. Este análisis permite identificar y cuantificar los diferentes componentes presentes en cada tipo de combustible, proporcionando información detallada sobre su composición química. La reproducibilidad de los resultados se asegura mediante la realización de múltiples inyecciones y análisis de las muestras.

## 10. Análisis económico

Para entender el análisis económico del proyecto de obtención de diésel y gasolina a partir de la transformación de polietileno de baja densidad, primero se deben conocer los dos tipos principales de costos: los costos variables y los costos fijos. Los costos variables son aquellos que cambian según la cantidad de combustible producidos, como el dinero invertido en materias primas y energía. Los costos fijos, por otro lado, son los mismos sin importar cuánto produzcamos, como la construcción del reactor y el alquiler de las instalaciones.

Cuando se piensa en llevar el proyecto a una escala mayor, es importante prever cómo estos costos cambiarán. Aumentar la producción puede hacer que los costos por unidad de combustible bajen, porque los costos fijos se distribuyen entre más unidades. Sin embargo, también podríamos necesitar más inversión en equipos y tecnología. Este análisis nos permitirá anticipar cuánto dinero necesitamos y cómo podemos hacer que el proyecto sea rentable y exitoso cuando produzcamos más combustible.

### 10.1 Costos fijos

**Tabla 2** Especificación de los costos fijos.

Costos Fijos	
Balde metálico	\$ 8.000,00
tuberías en acero comercial	\$ 30.000,00
Láminas de acero	\$ 228.680,00
Accesorios hierro galvanizado	\$ 11.000,00
Balón de 1000ml	\$ 46.000,00
Condensador de bolas	\$ 66.102,00
Bomba	\$ 110.596,00
Beacker 1000ml	\$ 32.000,00

Mechero	\$ 128.718,00
Soporte universal	\$ 146.433,00
Mangueras de silicona	\$ 5.600,00
Termómetro	\$ 45.000,00
Total	\$ 858.129,00

Para comprender el funcionamiento y la composición de los costos fijos, es necesario detallar cada elemento de la lista presentada.

En primer lugar, se debe considerar la construcción del reactor donde se llevará a cabo la pirolisis. Este componente incluye un balde metálico, tuberías de acero comercial, láminas de acero y accesorios de hierro galvanizado. Estos elementos tienen un costo total de \$278.480 y pueden considerarse el corazón del proyecto, ya que es en el reactor donde se realiza la transformación principal de la materia prima.

En la siguiente etapa, correspondiente a la parte experimental con equipos de laboratorio, se incluyen varios elementos esenciales: un balón de 1000 ml, un condensador de bolas, una bomba centrífuga, un beaker de 1000 ml, un mechero Bunsen, un soporte universal, mangueras de silicona y un termómetro de mercurio. El costo total de estos materiales es de \$534.449. Estos equipos son cruciales para el proceso de destilación, donde se obtiene el producto final en forma de combustibles como diésel y gasolina.

La combinación de estos componentes asegura el correcto desarrollo del proyecto, desde la transformación inicial de la materia prima en el reactor hasta la destilación y obtención de los combustibles finales en el laboratorio.



## 10.2 Costos variables

**Tabla 3** Especificación de los costos variables.

Costos Variables	
Bodega	\$ 500.000,00
Transporte	\$ 200.000,00
Luz	\$ 35.000,00
Agua	\$ 40.000,00
Carbón antracita (25kg)	\$ 600.000,00
Gas natural	\$ 12.000,00
Materia prima (PEBD (kg) )	\$ 520.000,00
Total	\$ 1.907.000,00

Respecto a los costos variables, estos representan todos los gastos asociados a la operación continua del proyecto, incluyendo el reactor y los elementos de laboratorio. La bodega donde se llevará a cabo la manufactura del proyecto está situada en el municipio de Soacha. Por el uso de un espacio específico dentro de esta bodega, se paga un arriendo mensual de \$500.000.

El costo de los servicios, como electricidad, agua y gas, se calcula en función del incremento en los precios de estos servicios respecto al mes anterior. Es importante tener en cuenta que la bodega alberga a diferentes grupos operativos, por lo que los costos de los servicios se distribuyen proporcionalmente entre todos los usuarios. Esta metodología asegura una distribución equitativa de los gastos operativos y permite ajustar el presupuesto según las variaciones en el consumo y las tarifas de los servicios públicos. De modo que sumados al arriendo de la bodega, y el transporte, los servicios y la materia prima daría un total de \$1.907.000.

### 10.3 Proyección a un año

**Tabla 4.** Proyección económica a un año.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Cantidad de ventas	110	220	165	180	195	210	220	220	220	220	220	220
Facturación	\$1.308.230	\$2.681.434	\$2.011.076	\$2.279.219	\$2.413.291	\$2.547.362	\$2.681.434	\$2.681.434	\$2.681.434	\$2.681.434	\$2.681.434	\$2.681.434
Costos fijos	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511	\$71.511
Costos variables	\$1.347.000	\$1.907.000	\$1.627.000	\$1.739.000	\$1.795.000	\$1.851.000	\$1.907.000	\$1.907.000	\$1.907.000	\$1.907.000	\$1.907.000	\$1.907.000
Costos totales	\$1.418.511	\$1.978.511	\$1.698.511	\$1.810.511	\$1.866.511	\$1.922.511	\$1.978.511	\$1.978.511	\$1.978.511	\$1.978.511	\$1.978.511	\$1.978.511
<b>Ganancia</b>	<b>-\$110.281</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$312.565</b>	<b>\$468.708</b>	<b>\$546.780</b>	<b>\$624.852</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$702.923</b>	<b>\$702.923</b>

Como se logra evidenciar nuestro primer mes en ganancias aparece con un valor negativo debido a que los costos totales superan la facturación teniendo en cuenta que la producción y venta es un poco más baja con respecto a los siguientes meses, también debemos hacer énfasis en que se están tomando en cuenta las inversiones iniciales para la construcción del reactor, pero conforme avanzan los meses vemos que las ganancias aunque con algunas variaciones van mejorando y tenemos saldos positivos, donde al quinto mes ya podríamos decir que la inversión inicial fue recuperada y de este punto en adelante la producción de gasolina y diésel van a generar verdaderas ganancias.

## **11. Resultados**

### **11.1 Desarrollo del problema**

Para el desarrollo de la investigación, así como se menciona anteriormente, se necesitan varios puntos para tener en cuenta para empezar con el análisis:

- Materia prima
  
- Reactor
  
- Tratamiento de materia prima
  
- Proceso de pirólisis
  
- Proceso de destilación
  
- Análisis cromatográfico

### **11.2 Materia prima**

Se realizará el primer lote de prueba con aproximadamente 5 kg (kilogramos) de materia prima, la cual es el polietileno de baja densidad, este se obtuvo fácilmente gracias a la recolección en hogares de familiares y amigos cercanos, el traslado fue por medios propios hasta el lugar destinado para el experimento, y está listo para empezar con el pretratamiento de limpieza y cortado.

## **Figuras 2** Materia prima



### **11.3 Montaje para la obtención del aceite pirolítico:**

#### **11.3.1 Reactor de pirolisis**

En este proyecto se optó por recrear un reactor con la capacidad y las condiciones necesarias para realizar un proceso termoquímico como lo es la pirolisis, por ende decidimos comprar un balde de metal con tapa sellable, que pueda resistir temperaturas sobre los 300 °C, las medidas del reactor son de 50 cm de alto, con un radio de circunferencia de 15 cm, diámetro de 30 cm con una salida de ¼ de pulgada en la tapa para acoplar la salida de tubería por la cual se evacuan los gases generados a partir del pirólisis.

Para calentar nuestro reactor, y lograr las altas temperaturas, se consiguió una malla metálica y madera para hacer una combustión constante.

## **Figuras 3** Ilustraciones del reactor



### 11.3.2 Tubería

Para la tubería se acopla una salida del reactor de  $\frac{1}{4}$  pulgada, aproximadamente de 30 cm de alto, conectada a un codo para extender horizontalmente 2 metros de tubería hasta la salida del condensador donde tendrá un accesorio en forma de T.

**Figura 4** Ilustraciones de la tubería ensamblada.



### 11.3.3 Condensador

Para el diseño del condensador, se crea una caja metálica de 30 cm<sup>3</sup> con agujeros laterales de ¼ de pulgada por el cual atraviesa la tubería de la salida del reactor, se debe sellar con silicona para evitar escapes, el condensador contiene agua aproximadamente a 8 o 10°C para condensar los gases de salida los que atraviesan por medio de la tubería de salida del reactor, se instala una tubería con una válvula para facultar la salida del agua y crear un reflujo de agua fría para mantener las bajas temperaturas y evitar el consumo excesivo del agua.

**Figura 5.** Ilustraciones del condensador.



### 11.3.4 Salida de emisión de gases

A la salida del condensador se evidencia que los gases no logran llegar a el cambio de estado en su totalidad, estas trazas gaseosas se toman como un residuo por ende se debe realizar una buena disposición del mismo, para esto se acoplo un accesorio en forma de "T" a la salida de la tubería del condensador, por el cual los gases condensados (líquidos) saldrán por la parte inferior de la tubería para la recolección del aceite pirolítico, y por la parte superior saldrán los gases sobrantes que serán conducidos por medio de una tubería a un tanque con agua para la captura de gases de emisión contaminantes y realizar la debida disposición de estos residuos líquidos.

**Figura 6.** Ilustración de la tubería adaptada para la salida de gases.



#### 11.4 Proceso de obtención de aceite pirolítico

Al realizar diferentes pruebas físicas para descartar cualquier tipo de fuga en nuestro montaje llegamos a la conclusión de que la construcción del prototipo para la prueba de la pirólisis y la obtención del aceite pirolítico se encuentra lista para la siguiente etapa del proyecto donde realizaremos la primer prueba real y lograremos obtener valores más concisos en cuanto a eficiencia a la hora de transformar nuestra materia prima en el aceite pirolítico, el cual también será sometido a un proceso de destilación para así obtener nuestros productos finales, la gasolina y el diésel.

**Figura 7.** Ilustraciones del prototipo ensamblado.





Para iniciar la prueba se pesó la cantidad de materia prima, aproximadamente 4kg de polietileno de baja densidad, en el primer experimento se adicionó las bolsas completas, mientras que en el segundo experimento para asegurar la facilidad del proceso de la pirolisis las bolsas se cortaron en trozos más pequeños los cuales estarán distribuidos de manera compacta en el reactor.

Para el condensador se utilizó agua fría, y se adiciono periódicamente bloques de hielo para mantener la temperatura sobre los 9°C, y una vez teniendo las condiciones apropiadas para el proceso, se inicia con el aumento de temperatura para el reactor.

**Figura 8.** Equipo en condiciones



Aproximadamente 1 hora después se evidenció las primeras gotas de aceite, por lo cual se sigue asegurando la temperatura tanto en el reactor como en el condensador, a medida que pasa el tiempo, el flujo de aceite va aumentando.

**Figura 9.** Recolección de aceite pirolítico



#### 11.4.1 Datos Obtenidos

**Tabla 5.** Resultados experimentales de la pirolisis

	<b>EXPERIMENTO 1</b>	<b>EXPERIMENTO 2</b>
<b>POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD</b>	4.2 kg	4.8 kg
<b>ACEITE PIROLITICO (L)</b>	3.4 L	4.1 L
<b>CONVERSION (%)</b>	81%	85%

### **11.4.1 Análisis de resultados**

En los dos experimentos se puede apreciar un buen desarrollo del proceso, en el primer experimento se obtiene una conversión del 81%, con respecto al segundo experimento, se obtiene una conversión del 85%, esto quiere decir que la distribución de las bolsas dentro del reactor puede ayudar a mejorar el proceso, sin embargo, el objetivo del experimento es lograr el 90% de conversión de polietileno de baja densidad en aceite pirolítico, que aunque no se llega a lo estimado, se acerca en gran manera a los resultados esperados.

## **12. CONCLUSIONES**

En el transcurso de este proyecto, se buscó conseguir de manera artesanal diésel y gasolina a partir de plásticos de polietileno de baja densidad (PEBD) a través de un proceso de obtención de aceite mediante pirolisis, los resultados obtenidos son favorables con respecto al objetivo esperado.

Los resultados evidencian el buen funcionamiento del método de pirolisis, la eficacia del método atribuye un 85% de conversión de polietileno de baja densidad en aceite pirolítico, que se encuentra muy cercano a la conversión esperada del 90%, este resultado promueve a seguir con el proyecto en su siguiente etapa de destilación y comparación cromatográfica, ya que, pese a la complejidad del proyecto, las complicaciones causadas nos limitan de manera significativa para poder culminarlo en el tiempo establecido.

### 13. REFERENCIAS

Calderón, F. (6 de Mayo de 2016). La producción de combustibles vehiculares a partir de plásticos de deshecho.

Charif, S. (12 de Noviembre de 2013). 1. Combustibles. Obtenido de combust5sergiosofian: <https://sites.google.com/site/combust5sergiosofian/1-combustibles-1> -

Charif, S. (24 de Septiembre de 2013). 1.1 La gasolina y sus propiedades. Obtenido de combust5sergiosofian: <https://sites.google.com/site/combust5sergiosofian/1-combustibles-1/1-1-la-gasolina-y-sus-propiedades>

Congreso de Colombia. (8 de Julio de 2022). Normograma del Ministerio de Relaciones Exteriores

Cortéz, C., Cecilia, M., Vásquez, P., & Soveyda, L. (2014). Identificación de los polímeros empleados en juguetes (Bolas del soplador) comercializados en ventas de productos chinos ubicados en el centro Histórico de San Salgado (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6330/-miles-de-millones-de-dolares-perdidos-en-30-anos-de-proyectos-de-residuos-para-energia-fracasados/>

DANE Información para todos. (5 de Agosto de 2022). Cuenta ambiental y económica de flujo de materiales – residuos sólidos (CAEFM-RS)

GREENPEACE. (15 de Noviembre de 2022). Di basta a los plásticos.

(2015).Hintes oil Europa.[https://www.elconfidencial.com/empresas/2021-12-02/plastico-aceite-uso-sanitario-bra\\_3334553/](https://www.elconfidencial.com/empresas/2021-12-02/plastico-aceite-uso-sanitario-bra_3334553/)

(2012). ¿Qué efecto tiene el plástico en el Océano? WWF,  
<https://www.wwf.org.co/?329156/Que-efecto-tiene-el-plastico-en-el-Oceano#:~:text=De%20acuerdo%20con%20Naciones%20Unidas,veces%20en%20un%20solo%20a%C3%B1o.>

Piña María, 2018, La pirolisis de neumáticos fuera de uso. ¿llegó la solución definitiva?  
Mundo eléctrico revista especializada en electrónica, vol. 32-No117, P.61-64

Malaver Johan, Reciclaje, el primer paso responsable para aprovechar la basura que generamos, recuperado de:

<https://bogota.gov.co/yo-participo/blogs/basura-en-bogota-una-responsabilidad-de-todos-los-ciudadanos>

World Wildlife Fund (WWF). (24 de Febrero de 2023). WWF se une al Pacto por los Plásticos en Colombia

El Tiempo. (2023, 6 de junio). En Colombia, el consumo de plástico alcanza la cifra de 1,250,000 toneladas anuales. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/en-colombia-el-consumo-de-plastico-alcanza-la-cifra-de-1-250-000-toneladas-anuales-775090#:~:text=Cada%20colombiano%20desecha%20aproximadamente%2024,agravando%20a%C3%BAn%20m%C3%A1s%20la%20situaci%C3%B3n.>

Zarza, L. F. (s.f.). ¿Qué es la destilación y para qué sirve? Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-destilacion-y-que-sirve>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Pirolisis.

Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/pirolisis.html>

RoyMaplast. (s.f.). Concepto, estructura y clasificación del polietileno. RoyMaplast.

Recuperado de <https://roymaplast.com/concepto-estructura-y-clasificacion-del-polietileno/>

Linseis. (s.f.). Polietileno de baja densidad (LDPE) frente a polietileno de alta densidad (HDPE) frente a polietileno (PE). Recuperado de

<https://www.linseis.com/es/conocimiento/polietileno-de-baja-densidad-ldpe-resumen/#:~:text=Polietileno%20de%20Baja%20Densidad%2C%20LDPE,John%20C.>

Tema 1. Estructura y propiedades de los polímeros. Recuperado de

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema\\_1.\\_Estructura\\_y\\_propiedades\\_de\\_los\\_polimeros.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_de_los_polimeros.pdf)

- King, C. J. (1980). Separation Processes. McGraw-Hill.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). Unit Operations of Chemical Engineering (7th ed.). McGraw-Hill.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th ed.). McGraw-Hill.
- Gary, J. H., Handwerk, G. E., & Kaiser, M. J. (2007). Petroleum Refining: Technology and Economics (5th ed.). CRC Press.
- Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill.
- Knothe, G. (2010). Biodiesel and Renewable Diesel: A Comparison. Progress in Energy and Combustion Science, 36(3), 364-373.
- Mollenhauer, K., & Tschoeke, H. (2010). Handbook of Diesel Engines. Springer.

- Speight, J. G. (2014). *The Chemistry and Technology of Petroleum* (5th ed.). CRC Press.
- Stone, R. (2012). *Introduction to Internal Combustion Engines* (4th ed.). Palgrave Macmillan.
- Hewitt, A. D. (2008). Purge and Trap Extraction. In S. D. Wilson (Ed.), *\*Handbook of Environmental Analysis\** (pp. 123-132). CRC Press.
- Keith, L. H. (2017). *\*Principles of Environmental Sampling\** (2nd ed.). American Chemical Society.
- Meyer, B. (2005). *\*Hydrocarbon Chemistry\** (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *\*Principles of Instrumental Analysis\** (7th ed.). Cengage Learning.