



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Obtención de combustible mediante pirólisis de residuos plásticos PET y HDPE del
botadero del Distrito de Huaral, 2023**

Tesis
Para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico

Autores
Jesus Angel Vargas Eugenio
Esthefany Araceli Delgado Diaz

Asesor
Mg. Ing. José Saúl Orbegoso López

Huacho – Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Química

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Vargas Eugenio, Jesus Angel	70769588	08/11/2024
Delgado Diaz, Esthefany Araceli	75904162	08/11/2024
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Orbegoso López, José Saúl	06800598	0000-0003-4866-3404
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Parrera Espinoza, Segundo Albertano	17990475	0000-0001-6854-5195
Nunja Garcia, José Vicente	15447556	0000-0002-9633-8190
Obispo Gavino, Jhon Herbert	15728127	0000-0002-0972-2400

Vargas Eugenio Jesús Ángel Delgado Díaz, Esthefa...

Obtención de combustible mediante pirólisis de residuos plásticos PET y HDPE del botadero del distrito de Huaral, 2023

Quick Submit

Quick Submit

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trncoid::1:3038568256

Fecha de entrega

11 oct 2024, 11:27 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 oct 2024, 11:40 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

ICOS_PET_Y_HDPE_DEL_BOTADERO_DEL_DISTRITO_DE_HUARAL_2023_5.docx

Tamaño de archivo

10.6 MB

123 Páginas

14,007 Palabras

79,949 Caracteres



Página 2 of 130 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trncoid::1:3038568256

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

15%  Fuentes de Internet

5%  Publicaciones

12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres, Agapito Vargas y Rosita Eugenio por traerme al mundo y ser parte de mi día a día.

Vargas Eugenio, Jesus A.

Dedico este logro a mis abuelos Jorge y Lucía, a mi mamá Rocío y familiares, que me brindan su apoyo absoluto en cada paso que doy, haciendo que hoy en día sea una persona de bien, logrando dejar huella en cada meta lograda. Todo es por ellos y para ellos.

Delgado Diaz, Esthefany A.

AGRADECIMIENTO

A nuestro dador de vida a quién creó todo lo visible e invisible, también, a nuestros padres por su apoyo y consejos vertidos a lo largo de nuestra vida.

Al ingeniero Orbegoso, José Saúl nuestro asesor que siempre estuvo dando lo mejor de sí, para que se llegue a este gran momento de la culminación de nuestra tesis.

Delgado Diaz, Esthefany A.

Vargas Eugenio, Jesus A.

ÍNDICE

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.	2
1.2.2. Problemas específicos.	2
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general.	3
1.3.2. Objetivos específicos.	3
1.4. Justificación de la investigación	4
1.5. Delimitaciones del estudio	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.	11
2.2. Bases teóricas	14
2.3. Bases filosóficas	40
2.4. Definición de términos básicos	42
2.5. Hipótesis de la investigación	46
2.5.1. Hipótesis general.	46
2.5.2. Hipótesis específicas.	46

2.6. Operacionalización de las variables	46
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	48
3.1. Diseño metodológico	48
3.2. Población y muestra	52
3.2.1. Población.	52
3.2.2. Muestra.	52
3.3. Técnicas de recolección de datos	52
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	54
4.1. Análisis de resultados	54
4.2. Contrastación de hipótesis	57
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	60
5.1. Discusión de resultados	60
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
6.1. Conclusiones	63
6.2 Recomendaciones	64
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características Generales del tereftalato de polietileno (PET)	15
Tabla 2 Caracterización de residuos sólidos de Huaral	16
Tabla 3 Propiedades Fisicoquímicas del Tereftalato de Polietileno (PET)	17
Tabla 4 Propiedades Fisicoquímicas del Polietileno de alta densidad (HDPE).....	18
Tabla 5 Equilibrio de la ecuación	20
Tabla 6 Cantidades de cada compuesto en la reacción	21
Tabla 7 Tipos de pirólisis con respecto al tiempo de residencia, velocidad de calentamiento y temperatura	23
Tabla 8 Operacionalización de variables	47
Tabla 9 Número de corridas.....	53
Tabla 10 Rendimiento del combustible	55
Tabla 11 Densidad del combustible.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Huaral. Tomado de Geo Perú (2024).	6
Figura 2. Ciclo de vida del Tereftalato de Polietileno. Tomado de Palma y Tenesaca (2020). ..	19
Figura 3. Reactor Pirolítico Artesanal	25
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso.....	27
Figura 5. Peso del picnómetro vacío.....	35
Figura 6. Peso del picnómetro con la muestra.	35
Figura 7. Picnómetro con agua	36
Figura 8. Prueba de inflamabilidad.....	37
Figura 9. Botadero Pampa de los Perros. Google Maps (2024).	50
Figura 10. Ubicación del distrito de Huaral. Adaptada de Geo Perú (2024).	51
Figura 11. Color del hidrocarburo.	54
Figura 12. Combustible obtenido de la Pirólisis.....	55
Figura 13. Punto de Inflamación del combustible obtenido.	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ecuación del rendimiento o fórmula de rendimiento porcentual	33
Ecuación 2 Densidad del producto.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño del Proceso de obtención de combustible a partir de la pirólisis de plástico politereftalato de etileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE).....	73
Anexo 2. Partes enumeradas del diseño del proceso	74
Anexo 3. Partes del Proceso Pirolítico	75
Anexo 4. Análisis de Laboratorio del combustible	76
Anexo 5. Medición del porcentaje de agua	77
Anexo 6. Medición del octanaje del combustible.....	78
Anexo 7. Contaminación del basurero "Pampa de los Perros"-Huaral.....	79
Anexo 8. Cortado de residuo plástico HDPE	82
Anexo 9. Reactor reciclado casero	82
Anexo 10. Proceso Completo de obtención de combustible	83
Anexo 11. Obtención de combustible.....	83
Anexo 12. Combustible	84
Anexo 13. Reciclo del gas resultante.....	84
Anexo 14. Diesel (Otro Producto Resultante)	85
Anexo 15. Parafina (Resultado).....	85
Anexo 16. Litro de muestra para el análisis	86
Anexo 17. Crudo de la muestra	86
Anexo 18. Prueba de Inflamabilidad	87
Anexo 19. Carbón Pirolítico	87
Anexo 20. Análisis de Densidad.....	88
Anexo 21. Prueba en Moto Lineal del Combustible.....	88

Anexo 22. Prueba de motor encendido satisfactorio	89
Anexo 23. Prueba 1	90
Anexo 24. Extracción del producto final	91
Anexo 25. Prueba 2.....	92
Anexo 26. Productos Resultantes	92
Anexo 27. Prueba 3.....	93
Anexo 28. Pesado de producto obtenido.....	93
Anexo 29. Densidad del Agua	94
Anexo 30. Matriz de consistencia: Obtención de combustible mediante pirólisis de residuos plásticos PET y HDPE del botadero del distrito de Huaral, 2023	95

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo la obtención de combustible mediante la pirolisis térmica, aprovechando el plástico que se encuentran dentro del botadero Pampa de los Perros – Huaral, determinó las temperaturas de operación, diseño del proceso y las características fisicoquímicas del combustible obtenido.

La metodología es de tipo experimental, con carácter exploratorio dando a conocer el análisis de los plásticos utilizados y parámetros que interviene en el proceso. Para su desarrollo, las muestras de plástico politereftalato de etileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) fueron recolectadas, lavadas, secadas, trituradas, para las corridas se utilizó un reactor casero con un volumen de $3,35757 * 10^{-3} m^3$, un sistema de enfriamiento por medio de tuberías.

Se analizó el producto líquido obtenido con base a sus propiedades fisicoquímicas, se consideró el análisis de olor, color, rendimiento, número de octanos, densidad, porcentaje de agua, además, se hizo la prueba de punto inflamación.

Con este trabajo se dio otro valor a los plásticos tereftalato de polietileno (PET) Y polietileno de alta densidad (HDPE), ya que tiene un impacto significativo en nuestro entorno y perjudica a los pobladores que viven alrededor del botadero pampas de los perros. Hay mucha diferencia de rendimiento de polietilenotereftalato (PET) Y polietileno de alta densidad (HDPE) en el proceso, pero juntos hacen un buen proceso dando calidad y rendimiento al producto, los parámetros de temperatura, tamaño de partícula y tiempo de reacción son muy importantes, se obtuvo seis productos, la cual están la parafina, el diésel, la gasolina, el carbón, y el gas que se quema en el horno para la realimentación de calor para el reactor pirolítico.

Palabras claves: polietileno, residuos plásticos, pirolisis, combustible

ABSTRACT

The objective of the research was to obtain fuel through thermal pyrolysis taking advantage of the plastics found in the garbage collector “Pampa de los Perros” - Huaral, determining the operating temperatures, process design and the physicochemical characteristics of the fuel obtained.

The methodology is of an experimental type, with an exploratory character, providing the analysis of the plastics used in the parameters involved in the process. For its development, the PET and HDPE plastic samples were collected, washed, dried, crushed, for the runs a homemade reactor with a volume of $3,35757 * 10^{-3} m^3$, a cooling system by means of pipes.

The liquid product obtained was analyzed based on its physicochemical properties, considering the analysis of odor, color, yield, octane number, density, water percentage, in addition, the flash point test was performed.

With this work we gave another value to PET and HDPE plastics, since it has a significant impact on the environment and harms the people living around the “Pampa de los Perros” landfill. There is a lot of difference in performance of PET and HDPE in the process, but together they make a good process giving quality and performance to the product, the parameters of temperature, particle size and reaction time are very important, six products were obtained, which are kerosene, diesel, gasoline, coal, and gas that is burned in the furnace for heat feedback to the pyrolytic reactor.

Keywords: polyethylene, plastic waste, pyrolysis, fuel

INTRODUCCIÓN

El uso de artículos fabricados con los plásticos tereftalato de polietileno (PET) o polietileno de alta densidad (HDPE) en sus diferentes presentaciones ha ido aumentando hoy progresivamente a lo largo de los años ya que presenta beneficios físicos al contener y conservar productos, además de su menor valor económico llegando a ser predominante en el mercado. No obstante, su continua utilización ha llegado a transformar a este producto que había sido un gran descubrimiento y ayuda para los seres humanos, en un residuo perjudicial para la vida en el planeta, dado que el tiempo que toma para degradarse es de cientos de años, esto trae como consecuencia su recurrente acumulación.

En el Perú se promedia el uso de 30 kg de plástico por ciudadano al año según el Ministerio del Ambiente (MINAM, s.f.), es por este motivo que se hace indispensable plantear alternativas que reduzcan eficientemente su impacto al medio ambiente y aprovechar al máximo el valor energético del plástico tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) dando así un valor agregado al residuo.

La actual investigación tiene como propósito la “Obtención de combustible teniendo como materia prima los residuos plásticos PET y HDPE del botadero del distrito de Huaral, 2023”, que radica en la descomposición química del plástico por efecto térmico, la cual se denomina pirolisis, entendiéndose combustible que pueden ser empleados en vehículos, camiones, calderos, etc. ofreciendo un método alternativo al reciclaje común de hoy en día.

Diferentes investigaciones plantean este método como un proceso eficiente, limpio, y económico para reciclar los desechos plásticos, reduciendo así la gran contaminación en el ambiente.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Desde 1980 la utilidad del plástico va en aumento, desembocando una coyuntura crítica tanto a nivel nacional e internacional, ya que la contaminación que genera es alarmante (Orbegoso, 2023).

El tereftalato de polietileno tiene más uso en el mercado, ya que son utilizados con mayor frecuencia como contenedores de agua y bebidas carbonatadas, el cual luego es desechado (Cayllahua, 2014). Lo mismo pasa con el plástico de alta densidad, desde tiempos pasados se emplean como revestimientos de cables, empaques, tuberías, tanques para agua y frascos, con el tiempo se ha ido masificando la cantidad de productos en la que se emplea, por su bajo costo y su versatilidad en la fabricación a medida de la necesidad del que consume (Roca, 2005).

El principal problema se centra en la disposición final que le da la población al plástico, cada año se arrojan hasta 8 millones de toneladas de plásticos al océano (MINAM, s.f.).

La escasa cultura ambiental de muchos ciudadanos los lleva a desechar los residuos plásticos sin medida, generando este problema, sin tener en cuenta que el plástico tarda de 100 a más años en descomponerse a la intemperie, y, la consecuente contaminación ambiental que se genera, por la falta de desaprovechamiento del valor energético de los plásticos estudiados (Gómez, 2016).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general.

- ¿Será posible obtener combustible mediante pirólisis de residuos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿De qué manera influye la temperatura en el proceso de la pirolisis para la obtención de combustible mediante residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?
- ¿Es posible diseñar el proceso de pirolisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?
- ¿Cómo caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirolisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

- Obtener combustible mediante pirolisis de residuos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar cómo influye la temperatura en el proceso de la pirolisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.
- Diseñar un método de proceso de pirolisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.
- Caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirolisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación teórica.

La actual investigación aporta sobre el uso de plástico politereftalato de etileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE), del botadero Pampa de los Perros, como materia prima esencial para obtener un combustible de calidad; los productos derivados del plástico se encuentran libres de azufre, compuestos en su mayoría por gasolina y fracciones de diésel, ideal para la producción de combustible (Proaño y Crespo, 2009) , contribuyendo a la solución de dar uso a las grandes masas de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) que existen y son desechados en vertederos. El presente trabajo pretende contribuir tanto como fuente teórica, como experimental, para posteriores estudios de investigación relacionados con el tema.

1.4.2. Justificación práctica.

La presente propuesta de obtención de combustible a partir del plástico tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE), procura aportar con una solución práctica y asequible a las grandes cantidades de residuos plásticos que se encuentran presentes en el botadero” Pampa de los Perros”, Distrito de Huaral, brindando de esta manera un ambiente sano.

1.4.3. Justificación ecológica.

Los plásticos politereftalato de etileno y polietileno de alta densidad presentes en el botadero “Pampa de los Perros”, Distrito de Huaral, contribuyen a una gran contaminación ambiental por su mala disposición final, es por ello que es indispensable la búsqueda de métodos de utilización de desechos de plásticos; hoy en día existe el reciclaje mecánico, este tratamiento da una nueva forma al plástico a través de la presión y el calor consiguiendo objetos iguales o diferentes al inicial, también existe el reciclaje químico, es una reacción reversible de la polimerización, transformándolos en plásticos o en sus derivados (Huaytalla, 2019), evitando de esta manera su vertimiento al medio ambiente y así disminuyendo su impacto.

1.4.4. Justificación técnica.

Esta investigación está orientada al análisis de ciertos métodos, la cual es la obtención de combustible mediante plásticos que están en el botadero pampas de los perros, dando una alternativa accesible para la obtención de combustible.

1.4.5. Justificación Económica

Al procesar el residuo plástico por el proceso de pirolisis, se da un valor agregado al residuo. Creando nuevas alternativas de combustible.

Para lo anteriormente dicho Alvarado y Reyes (2022) sostienen que el reaprovechamiento químico la cual es la pirólisis, descompone al plástico en hidrocarburos como gasolinas o diésel, esto pasa gracias a su capacidad calorífica; el valor agregado que se genera al plástico favorece la degradación retardada del material.

1.5. Delimitaciones del estudio

1.5.1. Delimitación espacial.

- Distrito: Huaral
- Provincia: Huaral
- Departamento: Lima
- Coordenadas UTM: $11^{\circ}29'41''$ S, $77^{\circ}12'28''$ O / $-11,4950000^{\circ}$, $-77,2077800^{\circ}$



Figura 1. Localización de Huaral. Tomado de Geo Perú (2024).

1.5.2. Delimitación tiempo.

- Meses: Inicio en Mayo 2023
- Finalización: agosto 2023
- Período Estimado: 04 meses

1.5.3. Delimitación teórica.

Tiene como base la teoría de Gómez Serrato sobre los residuos plásticos y Zavala Gutierrez sobre la pirólisis térmica, Acosta y Castro sobre las fases del proceso de la pirólisis del plástico y Lojano Quiroga sobre los parámetros que intervienen sobre el proceso pirolítico del plástico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Tigreros (2021) en su propuso como objetivo la evaluación del proceso pirolítico a través del software de dicho simulador para obtener combustible a mediante del politereftalato de etileno, es de tipo investigación documental, con métodos en base termodinámica para la utilización de reactores en el software aspen plus, compuesto por 3 fases; recopilación de información de la composición del plástico y de modelos matemáticos; diseñó un esquema de flujo del transcurso pirolítico para cada equipo que interviene el proceso como el reactor Ryield, intercambiador de calor y un separador liquido-gas mediante la simulación en el software Aspen Plus. Finalmente, obtuvo tres resultados a diferentes temperaturas dentro del programa, siendo el modelo cinético tuvo resultados con mayor acertamiento en comparación con el modelo termodinámico, dando un 34.8% de fracción líquida a 823,15°K, este proceso tiene viabilidad energética óptima teniéndolo en cuenta como sustitución del combustible tradicional.

Según Pinargote y Sánchez (2023) que en su tesis planteó como objetivo evaluación del rendimiento del combustible producido a través de la pirolisis térmica, este trabajo de investigación es de tipo descriptiva-experimental, utilizó método cuantitativo, recogió y analizó la base de datos numéricos de los tipos de residuos plásticos sometidos a diferentes temperaturas para el más óptimo rendimiento de combustible líquido, para el método experimental emplearon una serie de ensayos con la finalidad de propiciar el más óptimo tratamiento a través de variedad de condiciones indispensables para obtener el mayor porcentaje de fracción líquida.

Por último el método estadístico que utilizaron fue el estudio de varianza ANOVA y ensayo de tukey con lo cual se analizó la consecuencia y dependencia que se tuvo entre la variable independientes y dependientes, con lo cual se determinó el plástico más adecuado y temperatura óptima para un resultante líquido mayor.

Angulo y Torres (2023) en su investigación plantearon como objetivo la elaboración y producción de carburante de carácter práctica por medio de pirólisis, es tipo experimental y de campo, empleó el método cuantitativo, empezando por la recolección de datos a través del muestreo de los tipos de residuos plásticos, para el proceso de pirólisis se llevó a cabo por el método de destilación simple, estuvo constituido por un condensador con refrigeración de agua, termómetro de gases, reservorio de aceites, controlador de temperatura y un reactor de diez litros, que supera los $673,15^{\circ}\text{K}$ y con un tiempo de 2 horas y 60 segundos, el producto fue sometido al análisis de tono, aroma, consistencia y grados API con el equipo Densito.

Concluyó que los plásticos sometidos al proceso de pirolisis tienen un rendimiento de 11% de carbón, 44% de aceite y 45% de gas, las densidades de las muestras de hidrocarburo fueron de $0,74 \text{ g/cm}^3$ con una gravedad específica de 0,79 y grados API de $47,7^{\circ}$ dando semejanza al diésel.

Este proceso térmico al que se somete al plástico es una alternativa viable para la constante problemática de contaminación que causa los desechos plásticos, al darle un valor agregado a estos residuos se contribuye a la población con la mejora de su ambiente en el que vive.

Según Taipe (2020) en su tesis planteó como objetivo la fabricación de combustible con pirolisis catalítica del Polipropileno, es tipo experimental y de campo, empleó el método cuantitativo, la recolección de datos se dio por la selección de polipropileno desechado, el procedimiento estuvo comprendido por 9 ensayos pirolíticos a $723,15^{\circ}\text{K}$ con relaciones de catalizador de 1750, 1,5/50 y 2/50 con tiempo de 1 hora, 1,5 hora y 2 horas con respecto a la reacción y uno termodinámico por medio de la columna de craquea monitoreada por un pc. Asimismo, el producto líquido pasó por una serie de análisis fisicoquímicos estos fueron, el contenido de azufre, corrosión de lámina de cobre, ensayo de destilación, número de octanos, apariencia, color, índice de cetano, contenido de cenizas, punto de inflamación, viscosidad cinemática a $313,15^{\circ}\text{K}$. Como resultado que la relación de catalizador/pp óptima es de 1,5/50, con un tiempo de dos horas, dando un 75,1% de resultante líquido, 18,53% de resultante sólido y 6,37% de gas siendo estos datos los más óptimos para el proceso.

Según Rodríguez (2019) que en su tesis planteó como objetivo la determinación de condiciones operacionales ideales para la maximización de la generación de combustible a partir de residuos plásticos, se aprecia que su trabajo es de tipo experimental y utiliza métodos experimentales para la recolección de datos como, la técnica de termogravimétrico, calorimetría, cenizas, cantidad de calor, separación de fases y espectrometría.

En el análisis termogravimétrico de prueba de rampa de $283,15^{\circ}\text{K}/\text{min}$, la muestra fue de 7,9 miligramos de polietileno de alta densidad (HDPE) a $307,15^{\circ}\text{K}$ inicialmente, se evidenció que durante los $673,15^{\circ}\text{K}$ la materia estuvo estable, es a los 2 700 segundos a $756,15^{\circ}\text{K}$ donde se empieza la descomposición térmica en un 24,09%/minuto.

En la prueba rampa de $293,15^{\circ}\text{K}/\text{min}$, la muestra fue de 10,26 miligramos a $316,15^{\circ}\text{K}$, a los $713,15^{\circ}\text{K}$ se empezó a descomponer la materia y a los 1 380 segundos a $770,15^{\circ}\text{K}$ se apreció una considerable pérdida con un peso de $63,92\%/\text{min}$. Se concluyó que la conversión termoquímica que se le da al plástico tuvo un mejor rendimiento a los $773,15^{\circ}\text{K}$, con una rampa de calentamiento de $293,15^{\circ}\text{K}$, con partículas de material de 5 milímetros, es este caso el gas de arrastre fue el nitrógeno con $40\text{ ml}/\text{min}$ y con un reactor tubular.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

De acuerdo a Vargas (2020) que en su trabajo “La estimación para pirolizar con catalizador empleando zeolita, que son rocas de volcanes, que es catalizador fundamental, de basuras plásticas”, tuvo como objetivo evaluar de la pirólisis con catalizador y sin catalizador empleando zeolita, es tipo cuantitativa, con método experimental y la estadística descriptiva, según el muestreo de 10 bolsas la cual fue lavada y cortada en trozos, su materia prima fue el polipropileno con una temperatura de reacción de $723,15^{\circ}\text{K}$ y un período de tiempo 20 min, las pruebas fueron en catalizador y sin catalizador.

Como resultado la fracción líquida obtenida contiene o presenta una tonalidad amarillenta y con fácil volatilidad, se evidenció diferencias entre los 2 tipos de pirólisis siendo la catalítica la que produjo mayor fracción gaseosa, del $4,95\%$. Además, se determinó que la pirolisis térmica produce más productos líquidos. En conclusión, los parámetros óptimos fueron a $453,15^{\circ}\text{K}$, $1,5\text{M}$ de hidróxido de sodio y con un tiempo de 43 200 segundos.

Villegas y Zamudio (2022) en su tesis planteó como objetivo determinar los parámetros, las cuales fueron los grados centígrados y medida de partícula en la rentabilidad del combustible en el proceso de pirólisis de poliestireno expandido, es tipo experimental factorial multivariable 4 x 2 donde interviene el primer factor que son cuatro niveles de temperatura y el segundo factor que es el tamaño de partícula con dos niveles, con un método experimental, para la obtención del combustible se recolectó, lavó y trituró la materia prima, se llevó a cabo un pre tratamiento de calentamiento a 423,15°K durante 600 segundos, las pruebas se realizaron en un reactor por lotes a diferentes temperaturas y tamaños de plástico, los resultados fueron certificados estadísticamente través del análisis de regresión múltiple. Como resultado, se obtuvo el mejor rendimiento a 823,15°K, el porcentaje de fracción líquida, sólida y gaseosa fue mayor a las demás temperaturas con 97%, 2% y 0,8 % respectivamente, las condiciones operacionales de 283,15°K/min con respecto a la velocidad de calentamiento, una presión de 0,035 MPa, presión de vacío de 260 mmHg se maximizó el rendimiento del combustible obtenido.

Por su parte, Polanco (2019) en su tesis planteó un proyecto que invierta en la elaboración de combustóleo a través de la pirólisis usando zeolita a partir de desechos plásticos, es de tipo documental, descriptiva, de campo y estadística, los métodos de investigación aplicado fue mediante estudios de mercado, análisis de ofertas y demandas de petróleo, revisión de informes de necesidades de combustible nacionales, para la instauración de la planta se realizó estudio técnico, además del análisis económico y financiero de la inversión en el proyecto. Los resultados de las encuestas arrojaron que, utilizan en su mayoría el petróleo número 500 y en menor cantidad el número 5 y 6, requiriendo semanalmente de bidones de 5gl de combustible.

Se concluyó que la inversión es de 1 710 647,89, por medio de un préstamo de 700 000,00 soles y el resto avalado por socios, los indicadores financieros resaltan que el proyecto contiene un riesgo promedio.

Guillen y Osorio (2021) en su tesis se propuso como objetivo la determinación en condición operacional óptimas para obtener de combustibles mediante desechos plásticos, tipo de investigación aplicada, contiene el método no experimental teniendo un estudio de datos, recolección, expectación y representación de fenómenos indagados a nivel longitudinal, tomando en cuenta ilustraciones experimentales de otros autores. La temperatura apropiada la pirólisis de plástico está de 473,15°K a 1 173,15°K con una duración de 900 segundos a 10 800 segundos.

Los equipos donde se procesa la reacción térmica se comprende de reactores con el 69% y hornos con el 28%, también son aplicadas las estufas con derivado en 3%, la mayor cantidad de autores emplean zeolitas Y, HZSM y Zeolita Socony Mobil-5 para mayor rendimiento. Las características del hidrocarburo fueron avaladas por diez autores, estos concluyen que el punto de inflamación abarca desde 303,15°K a 317,15°K, la densidad de 0,72 a 0,92 g/ml, con respecto al rendimiento de los resultantes del proceso de pirólisis dictan que en menores temperatura se obtiene un rango de 12,8 a 97% en peso.

Según Carranza y Marreros (2022) en su tesis tuvo como objetivo el análisis de tipo de reactores de pirólisis para descomposición de desechos plástico, con enfoque cualitativo adaptando un modelo sistemático, método documental con teoría fundamentada y narrativa de tópico por averiguar de varios escritores.

Para la pirolisis existen reactores discontinuos, semicontinuos, de lecho fluidizado y rotatorios, la temperatura es de 573,15°K a 1 123, 15°K.

Se concluyó que los reactores pirolíticos son una buena alternativa para descomponer térmicamente a las basuras plásticas, este procediendo nos produce producto sólido, líquido y gaseoso, el combustible resultante es utilizado como fuente de energía, además que con esta alternativa se aporta al medioambiente y su contaminación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Residuos plásticos

Muchas veces al día se utiliza el plástico en sus diferentes presentaciones, como en un envase de gaseosa, como contenedor de productos, entre otros. Pero cuando el plástico ya no es utilizado es desechado y en muchas ocasiones no son reutilizados, son arrojados en vertederos o en ríos donde pasan a llamarse residuos de plástico, es sorprendente el incremento de los residuos de plástico en la actualidad (Gómez, 2016).

Los residuos de plásticos están constituidos en la mayoría de bolsas de plásticos, estos se comprenden de polietileno (PE), los ganchos de colgar la ropa de polipropileno (PP), los tapers de tecnopor de poliestireno (PS), tuberías para instalación de cloruro de polivinilo (PVC), y las botellas de las bebidas carbonatadas de polietileno tereftalato (PET), y otros (Gómez, 2016).

Se escogió como materia prima el politereftalato de etileno y polietileno de alta densidad. Según Palma y Tenesaca (2020) describe al tereftalato de polietileno (PET) como aquel polímero flexible que procede de la polimerización por condensación del ácido Tereftálico y del glicol de etileno.

Desde su creación en 1941, como una alternativa para la sustitución del algodón, el tereftalato de polietileno (PET) tiene como padres a Whinfield y Dickson (Palma y Tenesaca, 2020).

En la época de los 70 se usaba para envases ligeros, transparentes y resistentes, para contener líquidos carbonatados. En la época actual se ha mejorado gracias a la tecnología y se usa para muchas cosas como en farmacias, cosméticos, contenedor de licores, contenedor de agua mineral entre otros (Villalobos, 2018).

En la tabla 1, Descripción de particularidades generales de Polietileno Tereftalato.

Tabla 1

Características Generales del tereftalato de polietileno (PET)

Polietileno Tereftalato	
Aplicaciones	Envases de plástico que contienen líquidos alimentarios.
Composición	-Etileno, Paraxileno (64%) -Líquido de gas natural (13%) -Aceite (13%)
Impacto Ambiental	Se convierte en residuo Tiene una vida útil que dura unos 10 años
Reciclado	En un 100 por ciento, se da más valor a los de color azul y transparente.

Nota. Tomado de Palma y Tenesaca (2020).

2.2.2. Composición de residuos sólidos en el distrito de Huaral.

Se realiza el análisis de la composición de los residuos sólidos que los pobladores vierten, y de esta manera diferenciar los porcentajes de tipos de residuos que se encuentran en el basurero.

Tabla 2

Caracterización de residuos sólidos de Huaral

Residuos No Peligrosos	%
Materia orgánica	74,50
Papel	2,56
Cartón	2,18
Vidrio o cristal	1,93
Plástico (PET)	1,19
Plástico Duro	1,54
Bolsas de plástico	3,19
Metales	1,06
Latas	0,66
Textiles	1,07
Otros	2,56

Nota. Tomado de Municipalidad Provincial de Huaral (2013).

2.2.3. Propiedades físicas y químicas del Politereftalato de etileno y Polietileno de alta densidad.

Politereftalato de etileno (PET): Desde hace muchos años las industrias dan al plástico diversas utilidades, siendo el PET el más usado por sus notables cualidades de transparencia, resistencia, ligereza y hermeticidad, en la tabla 3, se detallan más sus propiedades fisicoquímicas del material plástico.

Tabla 3

Propiedades Fisicoquímicas del Tereftalato de Polietileno (PET)

Propiedades Fisicoquímicas	
Solubilidad	Soluble en grado menor: Solvente halógeno, aromático, cetona, ácido y base fuerte
Temperatura estable	< 348,15°K
Permeabilidad	Barrera al dióxido de carbono y dioxígeno
Densidad	Fase amorfa: 1,33 - 1,37 g/cm ³ Fase cristalina: 1,45 - 1,51 g/cm ³
Conductividad térmica	0,24 W/ m-°K
Propiedad óptica	Transmisión de la Luz es: 89 % Índice en refracción es: 1,576
Propiedad biológica	No es vulnerable

Nota. Tomado de Palma y Tenesaca (2020).

El plástico Polietileno de alta densidad (HDPE), desde su creación en 1933, este plástico se caracterizó por ser económico y brindar beneficios por sus propiedades de resistencia química y física.

Tabla 4

Propiedades Fisicoquímicas del Polietileno de alta densidad (HDPE)

Propiedades fisicoquímicas	Valor
Calor específico (J °K-1 Kg-1)	1 900
Coefficiente en expansión (x 106 °K-1)	100-200
Conductividad térmica a 296,15 °K (W/mK)	0,45-0,52
Temperatura máxima de utilización (°K)	328,15-393,15
Temperatura DE reblandecimiento (°K)	413,15
Temperatura de cristalización (°K)	403,15-408,15
Densidad (g/cm ³)	0,9-0,97

Nota. Universidad de Barcelona (s.f.).

2.2.4. Ciclo de vida del Plástico



Figura 2. Ciclo de vida del Tereftalato de Polietileno. Tomado de Palma y Tenesaca (2020).

2.2.5. Reciclado de desechos plásticos.

El reciclaje que se le da a los diferentes tipos de desechos de plásticos es la que involucra el procedimiento de reducción, reutilización y recuperación.

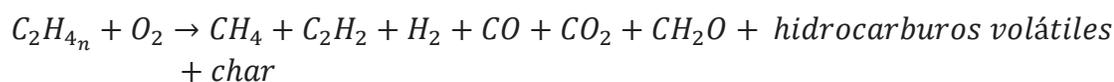
El Polietileno Tereftalato y el Polietileno en Alta Densidad son los tipos de plásticos que mayor uso y consumo en la humanidad, debido a que es un material con ligereza, sin corrosión y versátil respecto a los requerimientos del que lo consume, ante todas las grandes virtudes que puede brindar el politereftalato de etileno y polietileno de alta densidad a la humanidad se debe tener muy en claro la degradabilidad de este, ya que su descomposición es de varios años, siendo este el panorama, es necesario dar marcha a un reciclaje químico (Roca, 2005).

2.2.6. Reciclaje químico.

Este tipo de reutilización se centra en la descomposición del plástico por medio de un procedimiento químico, dando como resultado la obtención de elementos simples, consiguiendo materia prima para un siguiente producto.

Dentro del reciclado químico se encuentran los procesos de pirólisis tanto térmica como catalítica, hidrogenación y la gasificación, siendo estas, opciones de restauración de desechos plásticos que están en etapa de desarrollo (Zavala, 2015).

Según Chang y Goldsby (2013) la reacción estequiométrica de la pirólisis de plásticos se puede representar de la siguiente manera:



La ecuación equilibrada en base molar se muestra en la tabla 5 y 6.

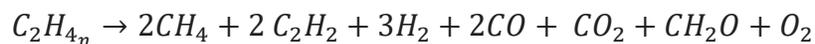


Tabla 5

Equilibrio de la ecuación

C_2H_{4n}	\rightarrow	CH_4	+	C_2H_2	+	H_2	+	CO	+	CO_2	+	CH_2O	+	O_2	Otros	+	char
1		2		2		3		2		1		1		1	-		-
X		2X		2X		3X		2X		X		X		X	-		-

Tabla 6

Cantidades de cada compuesto en la reacción

CH ₄	+	2O ₂ →	CO ₂	+	2H ₂ O + Q
1mol		2mol	1mol		2 mol
16g/mol		2x32g/mol	44g/mol		2x18g/mol
1litro		2litros	1litro		2 litros

La combustión del metano, que es uno de los principales componentes del combustible líquido producido por la pirólisis del polietileno, se puede representar de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = (\text{Cantidad producida}) / (\text{Cantidad de reactivos consumidos})$$

En el caso de pirólisis de un alqueno, las cantidades de producto producido es el total de la cantidad en todos los productos. Las cantidades de reactivos consumidos es la cantidad inicial del alqueno.

Para calcular el rendimiento de un producto específico, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso útil}}{\text{Peso total}}$$

$$\frac{\text{Peso útil}}{\text{Peso total}} \times 100 = \% \text{ de rendimiento}$$

$$\text{Rendimiento del producto} = \frac{\text{Cantidad de producto producido}}{\text{Cantidad de alqueno consumido}}$$

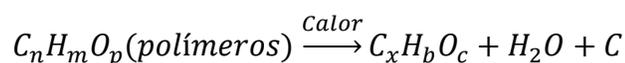
$$\frac{\text{Cantidad de producto producido}}{\text{Cantidad de alqueno consumido}} \times 100 = \% \text{ de rendimiento}$$

Por ejemplo, si se produce 100 moles de metano a partir de 100 moles de etano, el rendimiento del metano es del 100 %.

$$\text{Rendimiento del metano} = (100 \text{ moles de metano}) / (100 \text{ moles de etano}) = 1$$

2.2.6.1. Pirolisis térmica.

El proceso de pirolisis térmica parte de un pretratamiento que comprende la molienda y descarte de compuestos que no sean plástico, luego se deposita en el reactor del tipo que se requiera con un previo calentamiento a 773,15°K, los productos que reaccionan salen del contenedor reaccionante acompañado con el vapor de arrastre, cerca del 85% de la masa del plástico se convierte en carburante líquido y un 15% de gas que se reutiliza en la transformación (Zavala, 2015).



Es por ello que este proceso de descomposición química requiere el monitoreo de ciertos parámetros que operen de forma idónea en la reacción, estos se encuentran nombrados a continuación:

Materia Prima: Es de primordial la elección de los tipos de plásticos a utilizar para obtener mayor eficiencia y un mejor resultado con respecto a calidad o un producto con buenas propiedades (Lojano, 2020).

2.2.6.1.1. Temperatura.

Este parámetro define, rapidez de la pirolisis de plástico bajo las altas temperaturas, partiendo desde los 573,15°K, ya que a partir de los 873,15°K se genera más moléculas de gas (Lojano, 2020).

2.2.6.1.2. Presión.

Este parámetro si no se controla puede traer consecuencias al rendimiento del producto resultante, es por ello que es un factor indispensable en el proceso de pirólisis, tomando en cuenta que a mayor escala de presión los gases generados ya no entrarían en condensación, disminuyendo de esta manera el rendimiento del líquido generado (Lojano, 2020).

2.2.6.1.3. Velocidad de calentamiento.

Los diferentes procesos pirolíticos se encuentran vinculados en rapidez de caldeamiento con objetivo de alcanzar la calentura ideal y período de permanencia adecuada.

Tabla 7

Tipos de pirólisis con respecto al tiempo de residencia, velocidad de calentamiento y temperatura

Proceso	Tiempo de Residencia	Velocidad de Calentamiento	Temperatura (°K)	Producto
Carbonización Convencional	Varios Días 300 a 1 800 segundos	Más lento Lenta	673,15 873,15	Bio-char Gas, líquido y biochar
Rápida	0,5 a 5 segundos	Más rápido	923,15	Bioaceites
Flash (Líquido)	Menor a 1 segundo	Rápido	<923,15	Bioaceites
Flash (Gas)	Menos a 1 segundo	Rápido	<923,15	Químicos y gas
Ultrarápida	Menor a 0,5 segundos	Más rápido	1 273,15	Químicos y gas

Nota. Adaptado de Urien (2013).

2.2.6.2. Tipos de reactores pirolíticos.

Un reactor de pirolítico es el espacio donde se genera la descomposición térmica de la materia entrante.

Según Lojano (2020) se puede diferenciar tres clases de reactores, detallados a continuación:

- Reactor tipo batch: Tanque donde se deposita la masa para su degradación, posteriormente se da la reacción por un tiempo establecido llamado tiempo de residencia, siendo este el tiempo donde los polímeros se someten a una cierta temperatura.
- Reactor semi-batch: El material principal entrante que se somete a pirolizar se alimentan al principio, siendo los productos retirados de manera consecutiva.
- Reactor tipo continuo: Es el tipo de reactor que consta de un flujo continuo en el ingreso material y salidas de producto.

2.2.6.3. Descripción del reactor pirolítico.

El reactor que se empleó en el desempeño del procedimiento pirolítico, se encuentra estructurado con un diámetro de 0,15 m, 0,19 m de alto y de material de acero al carbono con un espesor de 0,002 m, conteniendo $3,35757 * 10^{-3} m^3$ en volumen, asimismo se colocó un termómetro de $773,15^{\circ}K$; este se encuentra ensamblado con una tubería de acero inoxidable de 0,019 m, con una extensión de 0,84 m.

Además, se colocó un nanómetro y 4 válvulas de bola de 0,013 para los 3 productos líquidos y 1 gaseoso, el sistema de condensación se encuentra por fuera y a lo largo de la tubería.

El reactor descrito anteriormente se presenta en la figura 3.



Figura 3. Reactor Pirolítico Artesanal

2.2.7. Diseño de proceso de pirólisis para obtener combustibles a partir de basuras plásticas.

Con un diseño idóneo más financiamiento requerido, los plásticos politereftalato de etileno y Polietileno de alta densidad desechados en botadero pampa de perros dejarán de ser un daño para el medio ambiente y lo que los habitan, transformándose en energía, dando como resultado un proceso factible. Asimismo, se originarán nuevos empleos donde el personal se encargará de recolectar, separar y organizar la materia prima para la pirólisis.

Se utilizó la pirólisis rápida para el diseño del proceso de degradación térmica de plástico de PET Y HDPE, en el vertedero de Pampa de Perros, ya que es reconocida por tener alto rendimiento en productos líquidos y garantiza obtener un gas que produce más cantidades de hidrocarburos líquidos siendo efectivo con respecto a los tipos de plásticos que se usó.

2.2.8. Fases del proceso en la pirolisis.

Los residuos plásticos en los botaderos se encuentran mezclados con diversos tipos de elementos inorgánicos y orgánicos, que se deben sustraer ya que no perjudique a las etapas del proceso de pirolisis, es por ello que se comienza por un previo tratamiento a la materia prima, eliminando aquellos elementos que no participarán en el proceso, el siguiente paso es eliminar la humedad de la materia realizando la operación de secado previo al ingreso en el reactor, a su vez, la reducción de la medida del plástico.

Todo esto contribuye para su posterior reacción térmica llamada pirolisis, consecutivo a ello, se separa y limpia lo obtenido.

Conforme a ello se puede determinar que las etapas que comprenden al proceso de pirolisis son: Dosificar la materia prima, conversión de los plásticos, obtener y separar los productos (Acosta y Castro, 2021).

En el presente trabajo se ha propuesto el siguiente diagrama del proceso, que se muestra en la figura 4, desde el pre tratamiento del plástico hasta la obtener el combustible.

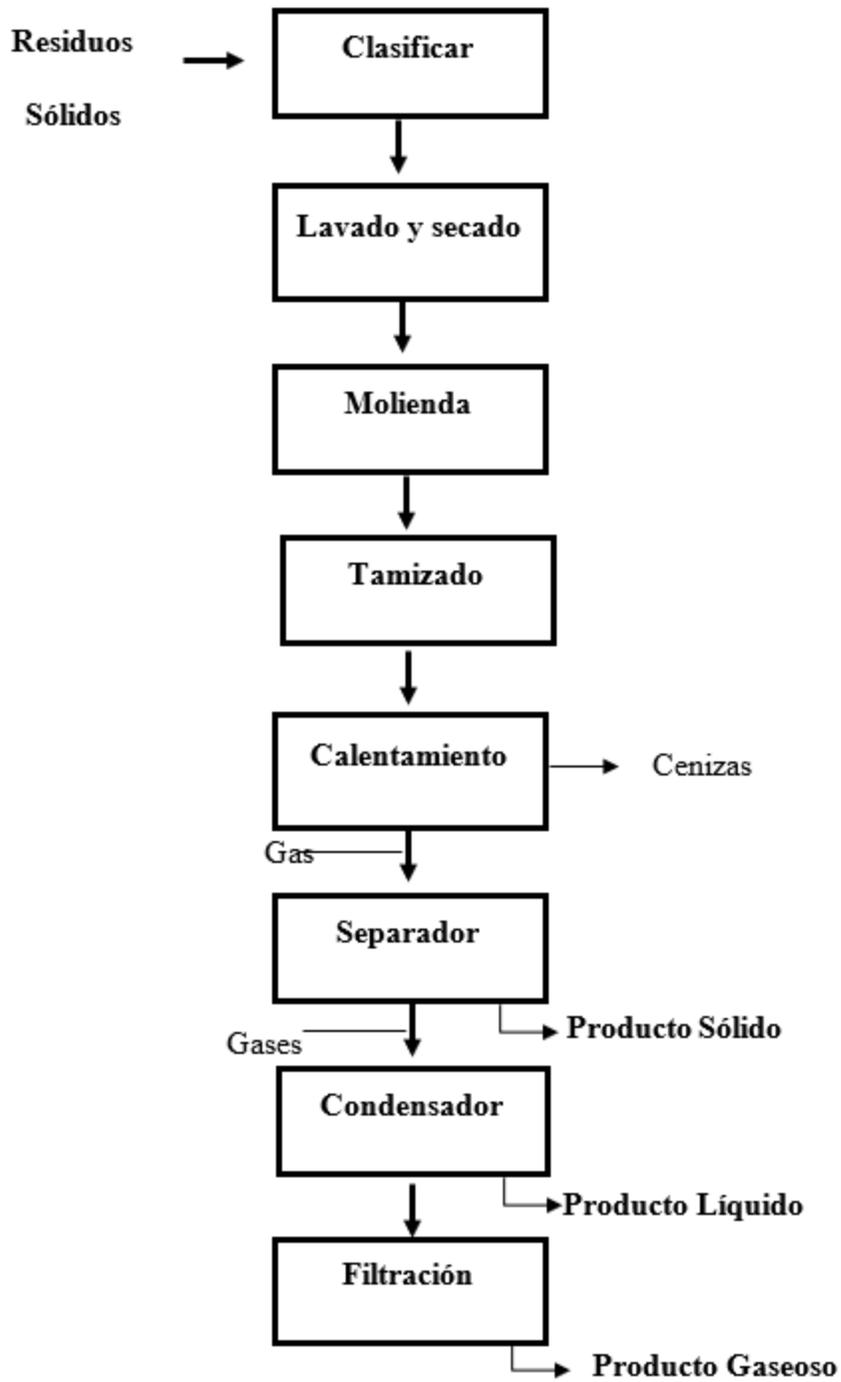


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso.

2.2.8.1. Etapas del proceso.

2.2.8.1.1. Selección de los plásticos politereftalato de etileno y polietileno de alta densidad.

En el botadero Pampas de Los Perros los residuos se encuentran en conjunto con otro tipo de residuos, por ello esta operación unitaria se enfoca en selección los plásticos PET y HDPE dentro de tumulto de residuos, con el objetivo de aprovechar los materiales que entrarán al proceso pirolítico.

2.2.8.1.2. Trituración de los plásticos.

Se basa en la disminuir en tamaño el material, para obtener partículas de 0,01 m a 0,02 m para una favorable transmisión del calor.

2.2.8.1.3. Secado de la materia prima.

Esta operación trata de la reducción de contenido de humedad presente en los plásticos triturados, introduciendo el material al secado de 378,15°K por un tiempo de 1800 segundos, para su acondicionamiento propicio en el proceso y asimismo minimizar los costos de producción.

2.2.8.1.4. Tamizado de las partículas.

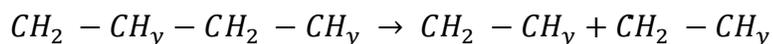
En esta etapa se separan los diferentes tamaños de partículas a través de un material sólido con perforaciones circulares, reteniendo las partículas de gran tamaño y filtrando las partículas de menor tamaño.

2.2.8.1.5. Pirólisis Térmica.

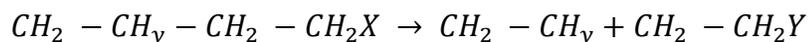
Esta metodología se trabaja entre las temperaturas de 623,15°K a 773,15°K, este parámetro se encuentra dentro del alcance de degradación para la fabricación de combustóleo a mediante basuras plásticas, esta investigación ha sido desarrollada con un tiempo de contención-reacción de media hora, tomando en cuenta el bajo gasto de energía usado con respecto al tiempo de residencia (Pinargote y Sánchez, 2023).

Según Alvarado y Reyes (2022), dice que la pirólisis térmica tiene las siguientes etapas:

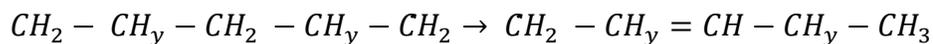
Iniciación: Consiste con el rompimiento de enlace C - C de las cadenas poliméricas dando paso a varios radical libre, consigue ocurrir de manera casual



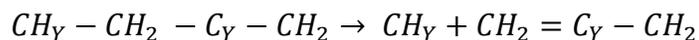
Y al término en cadena tenemos



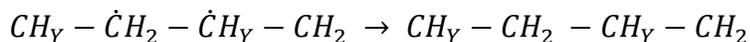
Propagación: Tras la ruptura de radicales libres se da la transferencia de hidrógeno



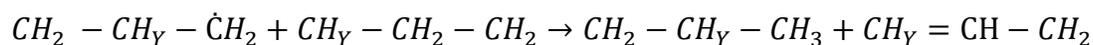
Ruptura dentro colocación β



Terminación: En esta etapa se desemboca la recombinación, esto es donde se acoplan dos radicales, generando otra molécula



O la desproporción, en el que, un par de radicales se combinan, generando alcano y olefina



2.2.8.1.6. Separación del sólido.

En esta fase se propone un separador ciclón para el flujo de salida del reactor, separando de esta manera la mezcla sólido - gas por medio de la acción de centrifugación, dando una separación deseable para el proceso.

2.2.8.1.7. Condensado del gas.

El flujo de gas proveniente de la reacción térmica, se encuentra comprendida por el gas y la etapa de condensación, el objetivo de esto es que el flujo de vapor sea transportado a través de un intercambiador de calor, condensando el flujo. Además, el combustible resultante aún presenta agua por ello es indispensable la utilización de otro intercambiador más.

2.2.8.1.7. Filtrado de los gases.

Esta última operación sirve más para generar un gas más puro y de mejor cualidad, pasando el flujo por una superficie que filtre las porciones de sólidos que contaminan al resultante de gas obtenido.

2.2.9. Parámetros que alteran o afectan al proceso al pirolizar.

Las siguientes medidas que involucran:

2.2.9.1. Color.

En los hidrocarburos existen tonalidades en un rango de tono desde amarillo a un rojo pardo, siendo del primer color nombrado los que poseen un menor peso específico de 0,77 a 0,79 gramos/milímetros, y los que contienen mejores propiedades para la derivación de productos de calidad, los de color ámbar poseen un peso específico medio de 0,79 a 0,82 gramos/milímetros y por último los de tono oscuro siendo los de mayor peso, señalando de esta manera mayor concentrado de asfaltos (Lojano, 2020).

Se estableció el color del combustible al mojar un papel blanco con una fracción del combustible llevándolo a una comparación.

2.2.9.2. La temperatura.

Este parámetro es uno de los más primordiales en el desarrollo de la transformación térmica, ya que la mayor temperatura facilita la creación de gases que no se condensan, reduciendo la generación de producto sólido (Acosta y Castro, 2021).

2.2.9.3. Velocidad de excitación.

Esta velocidad se refiere al calor de la reacción, este parámetro en mayor proporción propicia un mayor rendimiento de combustible líquido, en contraste con un calentamiento en menor temperatura, donde genera sólidos no deseables y que el rendimiento sea menor (Acosta y Castro, 2021).

2.2.9.4. *Tamaño de la partícula.*

Un buen acondicionamiento del tamaño del plástico es indispensable para que el calor se expanda con mayor facilidad y se genere vapor con fluidez, por ello es recomendable un diámetro máximo de 2 cm (Acosta y Castro, 2021).

2.2.9.5. *Tiempo de residencia.*

Está demostrado que el tiempo reducido en la reacción térmica desemboca la creación de una cadena de reacción consecutiva, incrementando la generación de combustible (Acosta y Castro, 2021).

2.2.10. Combustibles.

Los combustibles se encuentran en estado sólido, líquido y gas que al combinarlos con oxígeno propicia por medio de reacción química se desprende calor. En este caso se dará prioridad a los combustibles líquidos, de manera natural se encuentra el petróleo y los obtenidos por métodos automáticos se encuentran la nafta, biodiesel y alcoholes, adicionalmente en combustibles gaseosos producidos, se tiene el GLP y biogás (Lojano, 2020)

2.2.10.1. *Propiedades de los combustibles.*

Según Lojano (2020) los parámetros físicos que se le aplica a las propiedades del combustible con periodicidad son los siguientes:

2.2.10.1.1. *Rendimiento.*

El rendimiento consta por la cantidad en milímetros de combustibles obtenidos en el transcurso de pirólisis, en este caso da una relación hacia los 500 gramos de plástico PET y HDPE alimentados en el proceso pirolítico, empleando la siguiente fórmula:

Ecuación 1

Ecuación del rendimiento o fórmula de rendimiento porcentual

$$R = \frac{P * 100\%}{PMp}$$

R: Rendimiento

P: es el producto obtenido o la cantidad de producción

PMp: es la cantidad de materia prima o insumo utilizado en el proceso

100%: es un factor de conversión para expresar el rendimiento en porcentaje

2.2.10.1.1. Densidad.

Para establecer las densidades se utilizó la ecuación:

Ecuación 2

Densidad del producto

$$dm = \frac{P_m * d_w}{P_w}$$

Donde:

dm : Densidad de la muestra a temperatura ambiente (g/cm³)

P_m : Peso del producto en el picnómetro a T° ambiente (g)

d_w : Densidad de agua a 303,15 °K (g/cm³)

P_w : Peso del agua en el picnómetro a T° ambiente (g)

Se utilizó el picnómetro de 10 mililitros, presentado en la figura 5, y se procedió a pesar en una balanza analítica el picnómetro vacío, el cual se le dio un pre lavado para su desinfección.



Figura 5. Peso del picnómetro vacío.

Luego se procedió a llenar el picnómetro de gasolina hasta el ras del depósito, se tapó y gramó.



Figura 6. Peso del picnómetro con la muestra.

Por último, se llenó con agua otro picnómetro del mismo volumen a temperatura ambiente, por medio de la fórmula anteriormente descrita.



Figura 7. Picnómetro con agua

Se empleó la ecuación 2 para calcular el valor de la densidad del agua a $293,15^{\circ}\text{K}$ tal se da a conocer en anexo 18.

➤ **Punto de inflamabilidad**

Se trata en temperatura a menor rango por la cual los gases sueltos llegan a la inflamación.

Se introdujo cierta cantidad de la muestra obtenida de combustible en un recipiente y se le prendió con chispa de fuego.



Figura 8. Prueba de inflamabilidad.

➤ **Índice octanos**

Llamado por sus siglas en inglés Research Octane Number – RON, este parámetro se encuentra vinculado al tiempo que se tarda al suministrar un carburante y el estallido en el motor, ya que una pronta reacción de combustión propicia una incineración completa y pareja del combustible.

2.2.11. La elaboración de combustibles mediante pirólisis de plástico relacionada con el impacto ambiental.

La pirolisis de plásticos, como método para la obtención de combustible, tiene un huella significativa en el medio ambiente, este proceso puede mitigar algunos de los problemas más críticos relacionados con la gestión de residuos plásticos y la producción de energía. A continuación, los principales impactos ambientales:

2.2.11.1. Reducción de residuos plásticos.

El plástico es el mayor contribuyente a los residuos en los botaderos, el cúmulo de plásticos en basureros y en el medio ambiente, representa una crisis ambiental global. La pirolisis brinda solución para la reducción de residuos plásticos, al convertirlos en productos útiles, como combustibles líquidos y gases. Esto no solo disminuye la carga sobre los vertederos, sino que también ayuda a mitigar la contaminación del suelo y del agua (Czajczyńska et al., 2017).

2.2.11.2. Producción de energía y recursos renovables.

La pirolisis convierte los residuos plásticos en combustibles que pueden ser utilizados como sustitutos de los combustibles tradicionales, estos combustibles derivados del plástico pueden tener diversos usos, desde la generación de electricidad hasta el uso en motores; al proporcionar una fuente de energía alternativa, la pirolisis puede contribuir a la diversificación de la energética y a reducir el uso de combustibles convencionales (Anuar, Abnisa, Wan & Kheireddine, 2016).

2.2.11.3. Emisiones y contaminación.

Aunque la pirolisis reduce los residuos plásticos, también genera emisiones que deben ser gestionadas adecuadamente. Las plantas de pirolisis deben estar equipadas con sistemas de control de emisiones para capturar y tratar los gases y partículas liberadas durante el proceso, la correcta gestión de estas emisiones es crucial para minimizar el impacto ambiental y asegurar que la pirolisis sea una opción más sostenible que la incineración o el vertimiento de plásticos (Panda, Singh & Mishra, 2010).

2.2.11.4. Ciclo de vida del carbono.

La conversión de plásticos en combustibles mediante pirolisis también tiene implicaciones para dar ciclo del carbono. El plástico, son derivados del petróleo, y su conversión a combustibles líquidos puede liberar carbono que fue previamente almacenado. Sin embargo, si se compara con la incineración de plásticos o su disposición en vertederos, la pirolisis puede ser más eficiente en términos de emisiones de carbono. Además, el uso de combustibles derivados de plásticos puede reemplazar el uso de combustibles fósiles, potencialmente reduciendo la huella de carbono global (Czajczyńska et al., 2017).

2.2.11.5. Economía circular y sostenibilidad.

La pirolisis de plásticos se alinea con los principios de la economía circular al transformar residuos en recursos valiosos, este enfoque no solo ayuda a gestionar los residuos plásticos de manera más eficiente, sino que también promueve la reutilización y reciclaje de materiales, contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo.

La implementación de tecnologías de pirolisis puede incentivar el desarrollo de infraestructuras para la recolección y clasificación de plásticos, fomentando una gestión de residuos más responsable (Anuar et al., 2016).

2.3. Bases filosóficas

La pirolisis de plástico es una tecnología creciente que aborda tanto problemas ambientales como necesidades energéticas. La pirolisis se presenta como alternativas sostenibles con misión en residuo plásticos y en producción como energía (Anuar et al., 2016). Este marco filosófico explorará los fundamentos epistemológicos, ontológicos y éticos de esta tecnología, proporcionando un contexto teórico para su desarrollo y aplicación (Czajczyńska et al., 2017).

2.3.1. Fundamentos epistemológicos.

La epistemología de la pirolisis de plásticos se centra en el conocimiento científico y técnico necesario para comprender y mejorar este proceso. Este conocimiento incluye:

Química y Termodinámica: Comprender las reacciones químicas y los principios termodinámicos que rigen la pirolisis, aquello implica el rompimiento de enlaces de carbono y la creación de productos como aceites, gases y sólidos carbonosos. Con respecto a las condiciones de temperatura y el tipo de plástico, estos influyen significativamente en la composición de los productos resultantes (Anuar et al., 2016)

Ingeniería de Procesos: Desarrollar y optimizar los reactores y dar la condición para operar, así mejorar la eficiencia y calidad del combustible producido, estos deben ser capaces de mantener las temperaturas requeridas, manejar los flujos de materiales y productos, y asegurar la seguridad del proceso. La investigación en este rubro busca perfecciona la productividad energética y rentabilidad económica en pirolisis, así como reducir las emisiones y los residuos secundarios (Czajczyńska et al., 2017).

Ciencia de Materiales: Analizar las propiedades de los plásticos como materia prima y cómo estas afectan el transcurso de pirolizar diferentes tipos de polímeros, tal el polietileno (PE), el polipropileno y el poliestireno, tienen diferentes comportamientos durante la pirolisis. La ciencia de materiales ayuda a entender cómo la composición química, la estructura molecular y las características físicas de los plásticos afectan la capacidad en proceso y calidad de producto terminado (Angulo y Torres, 2023).

El enfoque epistemológico subraya la importancia de la investigación y el desarrollo continuo para avanzar en esta tecnología y resolver los desafíos técnicos y ambientales asociados (Anuar et al., 2016).

2.3.2. Perspectiva ontológica.

Desde una perspectiva ontológica, la pirolisis de plásticos plantea cuestionamientos sobre la naturaleza de los materiales y los procesos industriales.

Algunos aspectos clave incluyen:

Naturaleza de los Plásticos: Los plásticos son materiales complejos con una amplia gama de propiedades y comportamientos, lo que influye en su descomposición durante la pirolisis (Panda et al., 2010).

Transformación de la Materia: La pirolisis convierte los residuos plásticos en nuevos productos combustibles, transformando el desecho en recurso valioso (Czajczyńska et al., 2017).

Vida útil de Material: En plásticos y su transformación a través de la pirolisis debe considerarse en el contexto del período de vida completo de producto, de elaboración a disposición final más la revalorización (Palma y Tenesaca, 2020).

2.3.3. Consideraciones éticas.

La implementación de la pirolisis de plásticos también debe evaluarse desde una perspectiva ética. Algunos temas a considerar son:

Sostenibilidad Ambiental: Evaluar si la pirolisis contribuye a una gestión sostenible de los residuos y una disminución del impacto ambiental en comparación con otros métodos de eliminación y reciclaje (Anuar et al., 2016).

Justicia Social: Considerar la influencia de la pirolisis a las diferentes comunidades, especialmente aquellas que viven cerca de instalaciones de tratamiento de residuos (Acosta y Castro, 2021).

Responsabilidad Corporativa y Gubernamental: Analizar el rol de las empresas y los gobiernos en la promoción de tecnologías sostenibles y la regulación de la gestión de residuos (Panda et al., 2009).

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Polímeros.

Son moléculas de mayor tamaño constituidas por monómeros que se repiten. Cuando se emplea una sola molécula pequeña para producir la macromolécula, se le

llama homopolímero, y en el caso de la formación de dos monómeros de naturaleza variada, se le denomina copolímero (Redondo, 2018).

2.4.2. Polietileno.

Se define como conjunto de plástico que funden a varias temperaturas, está compuesto por partículas de enlace de carbono e hidrógeno $\sim(-CH_2 - CH_2-)\sim$ entre una serie polimérica (Zavala, 2015).

2.4.3. Reciclado químico.

Los desechos plásticos se desintegran por medio de un procedimiento químico que da paso a componentes más simples, llegando de esta manera a obtener monómeros, se puede asignar a polímeros termoestables (Zavala, 2015).

2.4.4. Pirólisis térmica.

Se fundamenta en la ruptura de las cadenas de polímeros en una atmósfera inactiva a temperaturas entre $673,15^{\circ}\text{K}$ a $1\ 073,15^{\circ}\text{K}$. Algunos polímeros de condensación o adición, es probable producir monómeros con un 80 % de rendimiento (Zavala, 2015).

2.4.5. Pirólisis de plástico.

Con el objetivo de romper las largas cadenas de polímeros se someten a grandes temperaturas y presiones elevadas (Villegas y Zamudio, 2022).

2.4.6. Mecanismo térmico de degradación.

La descomposición provoca por el calor en las poliolefinas se detalla como un proceso que se da por medio de la generación de radicales libres. Este proceso incluye fases de iniciación, propagación y terminación (Zavala, 2015).

2.4.7. Combustibles.

Es aquel componente que emana energía por medio de la energía química o nuclear, transformando energía en trabajo, este tipo de sustancia lo que se destaca es su poder calorífico entregado al llegar a la oxidación por entero (Campos y Tenazoa, 2018).

2.4.8. Producto líquido.

Este resultante líquido del proceso térmico, es llamado combustible, obtenido del condensado del gas, comprendiendo una parte de H₂O, oxígeno y partículas con mayor masa molecular (Acosta y Castro, 2021).

2.4.9. Producto sólido.

Esta fracción resultante del proceso pirolítico, se compone por ceniza, sales y metales, siendo así un cuerpo con contenido de carbón, además sale como derivado el carbón activado (Acosta y Castro, 2021).

2.4.10. Producto gaseoso.

Es el fluido gaseoso sin posibilidad de condensarse en el proceso, constituidos por H, N, O, CO₂, CO y demás gases (Acosta y Castro, 2021). Asimismo, en el presente proyecto se reciclará esa fracción gaseosa para el calentamiento del reactor.

2.4.11. Diésel.

Se le conoce como gasóleo o gasoil; es un tipo de combustible líquido obtenido mediante la destilación del petróleo a temperaturas que oscilan entre los 473,15 °K y 653,15 °K (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CNUEE], 2010)

2.4.12. Temperatura.

Es una propiedad física que señala el nivel térmico de los objetos o del entorno, y su unidad de medida es los grados Kelvin (°K) (Real Academia Española [RAE], s.f.a).

2.4.13. Presión.

Cantidad física que representa la fuerza aplicada por un objeto sobre un elemento, medida en Pascales (RAE, s.f.b).

2.4.14. Rendimiento.

Es la relación entre los recursos empleados y el resultado obtenido (RAE, s.f.c).

2.5. Hipótesis de la investigación

2.5.1. Hipótesis general.

- Es posible obtener combustible a través de la pirólisis a partir de los residuos plásticos PET y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.

2.5.2. Hipótesis específicas.

- Es posible determinar la temperatura en el proceso de la pirolisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) Y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.
- Es posible diseñar el proceso de pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.
- Es posible caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirólisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.

2.6. Operacionalización de las variables

La tabla 8, especifica la matriz de operacionalización del estudio de “Obtención de combustible mediante pirólisis de basuras en tereftalato de polietileno y polietileno de alta densidad del botadero del Distrito de Huaral, 2023.

Tabla 8

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Independiente e Pirólisis de los residuos PET y HDPE	Proceso endotérmico que requiere de calor para su reacción en temperaturas alrededor de 623,15°K a 923,15°K” en relación con la descomposición del polímero (Rodríguez, 2019).	Es la fase donde se aplica calor en ausencia de oxígeno al residuo plástico con la finalidad de despolimerizar y obtener gases que luego se condensa en combustible (Díaz, 2022).	Física	Temperatura	°K
				Presión	psi
Dependiente Obtención de combustible	El combustible obtenido sin necesidad de ser refinado luego del proceso de pirólisis, se encuentra apta para su comercialización (Villegas y Zamudio, 2022).	El combustible: El combustible obtenido tiene un octanaje mayor a las convencionales que se encuentran en el mercado, teniendo una mejor combustión en el motor teniendo una mayor potencia (León y Jiménez, 2018).	Físicas	Equipos	Uds.
				Tiempo	H
				PET (Poliestireno Tereftalato)	Ton
				HDPE (Polietileno de Alta Densidad)	Ton
				Densidad	Kg/m3
				Número octanaje de motor	MON
Químicas	Número de octano de investigación	RON			
	Porcentaje de agua	%			
	Índice antidetonante	AKI			
	Punto de Inflamación	°K			

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

De naturaleza experimental, En el Distrito de Huaral, utilizando diversas técnicas y procedimientos junto con residuos plásticos. El proceso de recolección de datos se desarrolló durante la obtención de combustible a través de pirólisis de residuos plásticos, como (PET) y (HDPE), provenientes del botadero de dicho distrito. Además, se trata de una investigación aplicada, enfocada en dar valor agregado a los desechos y obtener combustible, cuyas propiedades en su mayoría altamente beneficiosas para el proyecto.

3.1.1. Nivel de investigación.

Fue de carácter exploratorio, ya que se investigó detalladamente sobre la pirólisis de plástico y sobre los parámetros que operan en el proceso, es decir, desde el sistema del procedimiento a llevar a cabo hasta los resultados, para ello se investigaron todas las variables y parámetros señalados.

3.1.2. Diseño.

Fue experimental, debido a que la tesis detalla una alternativa eco amigable hacia el ambiente con la finalidad de obtener combustible a partir de residuos plásticos, proporcionando de esta manera un uso adecuado y tecnológico para los desechos de plástico.

PASO 1: CLASIFICACIÓN MECÁNICA, los residuos plásticos con el propósito de separarlos en los dos tipos de plásticos empleados.

PASO 2: LIMPIEZA, los residuos plásticos se lavan con el propósito de eliminar los contaminantes en el plástico.

PASO 3: SECADO a temperatura ambiente, para la eliminación de la humedad que tengan los plásticos.

PASO 4: MOLIENDA, el tamaño de partícula de 1 a 2 cm para una favorable transmisión del calor.

PASO 5: TAMIZADO que rectifica el tamaño. En esta etapa se separan los diferentes tamaños de partículas a través de un material sólido con perforaciones circulares, reteniendo las partículas de gran tamaño y filtrando las partículas de menor tamaño

PASO 6: REACCIÓN PIROLÍTICA, Esta metodología se trabaja entre las temperaturas de $623,15^{\circ}\text{K}$ a $773,15^{\circ}\text{K}$, este parámetro se encuentra dentro del alcance de degradación para la generación de combustible, la investigación se desarrolla con un tiempo de contención-reacción de media hora, tomando en cuenta el bajo gasto de energía usado con respecto al tiempo de residencia (Pinargote y Sánchez, 2023).

PASO 7: SEPARACIÓN, utilizando un ciclón para el flujo de salida del reactor, separando de esta manera la mezcla sólido - gas por medio de la acción de centrifugación, dando una separación deseable para el proceso.

PASO 8: CONDENSADO, el flujo de gas proveniente de la reacción térmica, se encuentra comprendida por el gas y la etapa de condensación, el objetivo de esto es que el flujo de vapor sea transportado a través de un intercambiador de calor, condensando el

flujo. Además, el combustible resultante aún presenta agua, por ello es indispensable la utilización de otro intercambiador más.

3.1.3. Variables.

Variable dependiente:

Combustible

Variables independientes:

Pirólisis de los residuos tereftalato de polietileno y polietileno de alta densidad

3.1.4. Ubicación.

El presente trabajo de tesis toma rumbo a su desarrollo en el botadero “Pampa de los Perros”, se evidencia en la figura 9, conteniendo las coordenadas UTM: 11°29'41" S, 77°12'28" O / -11,4950000°, -77,2077800°.

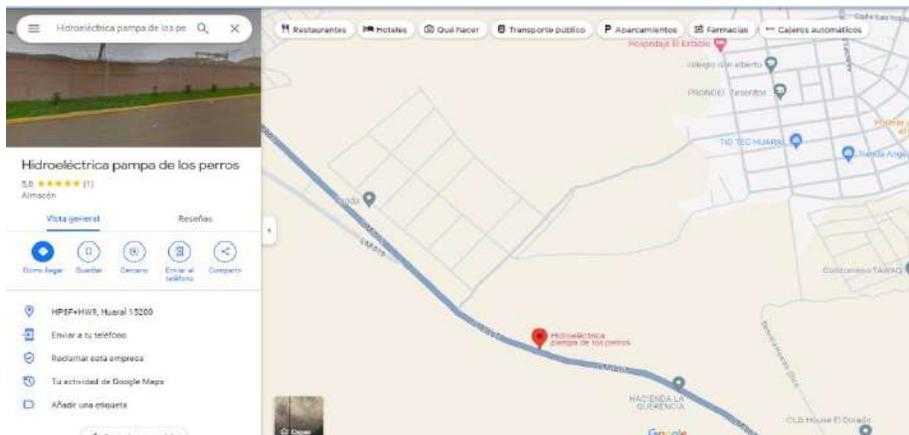


Figura 9. Botadero Pampa de los Perros. Google Maps (2024).

3.1.5. Características del área experimental.

La zona donde se generó la investigación es el botadero “Pampa de los Perros”, Distrito de Huaral, como se presenta en la Figura 10.

Es una zona donde se vierten los desechos de la toda la población que habita el Distrito de Huaral, este lugar tiene una severa contaminación del ambiente debido a las grandes cantidades de residuos sólidos vertidos y una escasez de tratamiento o reutilización de los desechos.

El botadero “Pampa de los Perros”, Distrito de Huaral, presenta las siguientes características:

- Capa de suelo tipo (S2)
- Área: +30 ha
- Norte: 8734696 m S
- Este: 250558 m E
- Zona: 18 L
- Altitud: 181 msnm



Figura 10. Ubicación del distrito de Huaral. Adaptada de Geo Perú (2024).

3.1.6. Tratamientos.

Para un mejor aprovechamiento del material plástico a procesar se realizó el siguiente tratamiento mecánico:

3.1.6.1. Tratamiento de Reducción de tamaño.

Se fragmentó el plástico en proporciones de 2 cm como máximo para mejor transferencia de calor sobre el material.

3.1.6.2. Tratamiento de Lavado del material.

Después del triturado del plástico se procedió a la eliminación de las impurezas, mediante lavado en grandes tanques de agua.

3.1.6.3. Tratamiento de Secado del material.

Luego de haber sido lavado, la materia debe secarse a una cierta temperatura, para la reducción de la humedad que presenta.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población.

Consiste en Los desperdicios plásticos de tipo PET y HDPE del botadero pampas de los perros - Huaral

3.2.2. Muestra.

La muestra fueron 3 kilos de plásticos entre PET y HDPE lo cual después del lavado se redujo 2 265 kg y se dividió en 3 corridas.

3.3. Técnicas de recolección de datos

3.3.1. Conducción del experimento.

Se realizó un muestreo aleatorio de toda la masa de residuos. Además, en la implementación del proceso empírico, la mayoría de los materiales serán reciclados. Al concluir el proceso, se llevó a cabo un análisis fisicoquímico del producto obtenido.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Los métodos utilizados fueron:

Análisis documental, la revisión de documentos y bibliografías de acuerdo al tema de investigación, además de diagramas de flujos para tomar en cuenta los parámetros requeridos para la obtención del combustible.

Programas de ofimática, así como Microsoft Word y Excel para llevar a cabo un mejor manejo de los datos obtenidos referentes al trabajo de investigación, de igual manera se llevó a efectuar la utilización de datos con la finalidad de conseguir valores reales y con seguimiento óptimo.

Observación de campo, la toma de registros e información de manera directa en la parte empírica con el objetivo de adquirir datos auténticos a la muestra de investigación.

En el procedimiento de obtención de combustible mediante pirólisis de plásticos polietileno tereftalato y polietileno de alta densidad a nivel laboratorio, se realizarán 3 corridas para determinar la influencia de los parámetros en la reacción de pirolisis, esto se da a conocer en la tabla 9.

Tabla 9

Número de corridas

N° Corridas	Parámetros a controlar			
1	Temperatura	Presión	Tamaño de partícula	
2	Temperatura	Presión	Tamaño de partícula	
3	Temperatura	Presión	Tamaño de partícula	

Capítulo IV. Resultados

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Color y Olor.

En la figura 11 se observa la tonalidad del carburante obtenido del proceso térmico.



Figura 11. Color del hidrocarburo.

Se puede visualizar que el color que presenta el combustible es de un tono claro, se intuye que se debe a la combustión incompleta del proceso.

En lo que respecta al olor se asimila mucho al aroma que emana la gasolina, teniendo el producto líquido resultante una mayor intensidad, esto puede irritar la cavidad nasal.

4.1.2. Rendimiento.

La porción de combustible obtenido se visualiza en la figura 12.



Figura 12. Combustible obtenido de la Pirólisis.

Empleando la ecuación 1, se halló el rendimiento del hidrocarburo obtenido del proceso pirolítico, la Tabla 10 presenta las variables dependientes para el resultado del rendimiento.

Tabla 10

Rendimiento del combustible

Procedimiento	Kg de plástico	Peso de combustible	$R = \frac{\text{Peso de combustible} * 100\%}{\text{Peso del Plástico utilizado}}$
Pirólisis Térmica	755 g	210 g	27,81%

4.1.3. Densidad.

En la tabla 11 se presenta las variables dependientes para el resultado de la densidad.

Tabla 11

Densidad del combustible

Propiedad	dm	P_m	d_w	P_w
Densidad	X	18,816 g	0,99823	21,0817
			g/ml	g

La densidad del hidrocarburo se calculó de la siguiente manera

$$dm = \frac{P_m * d_w}{P_w}$$

$$dm = \frac{18,816 \text{ g} * 0,99823 \text{ g/ml}}{21,0817 \text{ g}}$$

$$dm = 0,8909 \text{ g/ml}$$

$$dm = 890,9 \text{ kg/m}^3$$

dm = densidad del hidrocarburo

P_m = peso de la prueba

d_w = densidad del agua

P_w = peso del agua

4.1.4. Punto de inflamación.

Se trabajó a $330,35^{\circ}\text{K}$ momento donde se formó la llama en la superficie plana.



Figura 13. Punto de Inflamación del combustible obtenido.

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Contratación de hipótesis general.

Al analizar las fases que conforman el proceso de pirólisis del plástico, se pueden tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Existe la cantidad suficiente de residuos plásticos aprovechables en el botadero “Pampa de los Perros” para procesar PET Y HDPE en pirólisis térmica.

- Existe un 23,08 % de residuos plásticos en el botadero “Pampa de los Perros”, siendo en peso 3 540,35 kg/6meses según la MPH en el Decreto de Alcaldía N° 008-2013, lo que posibilita la necesidad social de viabilizar el presente proyecto.
- Anuar (como se citó en Balseca-Sampedro, Aquino-Arroba, Chela-Hinojosa y Figueroa-Moreno, 2021) dice que, por cada kilogramo de residuo plástico se produce de manera aproximada un litro de combustible.
- Las operaciones que intervienen en el proceso de pirolisis térmica del plástico es la recolección, lavado, descomposición térmica, destilación.
- La pirolisis térmica, según (Villamarín, 2015) convierte a los desechos plásticos entre 573,15°K a 1 373,15°K, de manera operativa este tipo de reciclaje químico es una técnica que le otorga valor energético a los residuos, debido a que, cualquier residuo polimérico, natural o sintético se pueden valorizar.

Dichas argumentaciones hacen admisible considerar que la hipótesis es contrastada de manera positiva, considerándola válida.

Por otra parte, la temperatura es importante, por influir en la velocidad del proceso; a medida que temperatura se incrementa en el proceso de pirólisis, ya que, a medida que la temperatura aumenta la pirólisis, existe un notorio incremento en el rendimiento de gases, de 573,15°K a 723,15°K con un peso de 11,85% y 40% respectivamente, con un menor porcentaje de cera según (Palmay, Medina y Vargas, 2021), esto confirma la primera hipótesis específica.

En el análisis de las operaciones incluyen la operación de recolección, lavado y secado, triturado, reacción pirolítica, destilado, este procedimiento contiene pasos básicos para cualquier pirólisis térmica de plásticos, como dice (Villamarín, 2015) los residuos deben ser seleccionados para una mejor eficiencia, con una humedad de 10 al 15%.

Los análisis de composición del combustible pirolítico térmico, define las características fisicoquímicas, como se pueden distinguir, el combustible obtenido contiene características convencionales, tiene olor a hidrocarburo, es de color amarillento, el índice de octanaje es 97 y 0,12% de agua.

Según la Resolución Ministerial N° 469-2021-MINEM-DM, la apariencia de la gasolina es claro brillante, libre de agua y partículas, color comercial regular rojo, color comercial Premium amarillo, número de octanaje para la gasolina regular mínimo 90, número de octanaje para la gasolina Premium es mínimo 95 (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2021).

Esto permite que la tercera hipótesis específica se confirme en lo referente a las especificaciones técnicas del MINEM, las cuales se encuentran dentro del rango establecido.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

- a. El tereftalato de polietileno (PET) contiene bajo rendimiento en la obtención de combustible, indicando que al emplear solo polyester en sus pruebas iniciales no obtuvo ningún líquido o combustible resultante, ya que al alcanzar altas temperaturas este tipo de plástico se convertía en un producto sólido, es por ello que en esta oportunidad se optó agregar el PEBD un plástico con mayor rendimiento de producto líquido (Rejas, Carreón, Ortiz, Llanes y Copa, 2015). Sus análisis arrojaron un rendimiento del 19,5% de solo PEBD.
- b. El rendimiento obtenido que es del 27,81% de gasolina, se debe a la influencia de la temperatura introducida al plástico para su descomposición, es por ello que Romero Cruz y Sierra (2016) afirman que a cuanto más temperatura, más eficiente, lo que resulta en una menor producción de carbón. El mayor porcentaje de combustible obtenido se dio a 593,15°K con un menor porcentaje de carbón pirolítico concordando de esta manera con la afirmación anterior.
- c. El método aplicado a los residuos plásticos del botadero “Pampa de los Perros” se constituyó de la recolección de los residuos, siguiendo por un pre tratamiento que consta del lavado y picado de los plásticos, y se puso a secar al sol, al día siguiente se cortó en pequeñas partículas con tijeras especiales, después se colocó en el reactor, se hizo 3 corridas cada una contenía 1 kilo.

- d. Se puso ladrillos al costado del reactor para poder conservar el calor, cuando la temperatura está en $373,15^{\circ}\text{K}$ empezó a salir gas, pero no es condensable, a los $593,15^{\circ}\text{K}$ empieza a salir gas condensable y este es trasladado por una tubería donde se dará paso a la condensación; el método descrito anteriormente.
- Contrastado con una pirólisis catalítica, esta última deja un mayor rendimiento, pero requiere de un paso previo de destilación. Asimismo, Ramos y Pretell (2021) dice que el análisis revela que el producto tiene una composición aproximada de 36% naftas, 50% diésel y 5% residuos, lo que indica una destilación.
- e. De acuerdo a la Asociación Automotriz del Perú (AAP, 2017) nos informa que el límite mínimo de octanaje de investigación (RON) y el número de octanaje de motor (MON) es de 95,0 y 85,0 respectivamente, en comparación con los resultados dados por una entidad especializada sobre el combustible obtenido en el presente trabajo de investigación arrojan un resultado de 97,7 RON y 87,7 de número de octanaje de motor (MON), se visualiza de esta manera un mejor producto líquido de acuerdo a los parámetros límites.
- f. El problema que es la contaminación ambiental y que perjudica a pobladores aledaños del botadero Pampa de los perros, obliga a que se debe considerar este proyecto por parte del gobierno central del Perú y el municipio del distrital de Huaral, Y generar una cobertura presupuestal.
- g. Se ha diseñado el proceso debido a que la situación actual sobre el aprovechamiento de estos plásticos, no brinda una solución para la humanidad, por lo contrario trae consecuencias que ponen en riesgo la calidad de los residentes del botadero Pampa de los perros.

- h. La perspectiva de los resultados, las investigaciones internacionales sobre implementación de plantas de pirolisis de plásticos muestran una gran posibilidad de llevar a cabo la propuesta, como un proyecto viable. Con los resultados preliminares del Análisis del botadero de Pampa de los perros y el método para poder recolectar los plásticos permite confirmar los datos necesarios para la obtención de combustible.
- i. El siguiente análisis tiene una contribución de tipo científico tecnológico, por el asunto de diseñar una planta, la cual va a reducir el plástico polietileno tereftalato y polietileno de alta densidad y darle un valor agregado.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a. La condensación es el punto crítico del proceso, ya que el parámetro de temperatura influye en un 20%, la parafina se da a temperaturas de 593,15°K hasta 523,15°K, luego el diésel de 523,14°K a 423,15°K, y al final la gasolina con temperaturas de 423,15°K a 293,15°K.
- b. Las características del combustible obtenido son similares al de las gasolinas convencionales, color amarillo, el olor es intenso como el de los hidrocarburos a largos tiempos causa incomodidad nasal, el porcentaje de octanaje de investigación (RON) es mayor al 95%, número de octanaje de motor (MON) mayor al 85%, AKI 92% y 0,12% de agua, sin necesidad de destilarlo se puede utilizar en los motores de vehículos, como fue comprobado en los anexos 16 y 17.
- c. El problema de contaminación ambiental y que perjudica a los pobladores aledaños del botadero Pampa de los perros, obliga la participación del gobierno central del Perú y el municipio del distrital de Huaral.
- d. El plástico tereftalato de polietileno (PET) en sí no brinda mucho rendimiento en comparación con el PEBD, y en el botadero el mayor porcentaje de basura son botellas de plástico, al juntar ambos tipos de plástico se genera un rendimiento promedio en el proceso de pirólisis, dándole de esta manera un valor agregado al residuo.

6.2 Recomendaciones

- a. Se recomienda el control de las temperaturas en todos los puntos críticos de la condensación y en la pirólisis, ya que si pasa los $573,15^{\circ}\text{K}$ se obtendrá mayor parafina y esto provocaría un estancamiento en los tubos que condensan los gases generados en la reacción térmica. Además, es recomendable el control del parámetro de la temperatura para la obtención de un producto líquido por separado y no una mezcla de diésel, gasolina y parafina.
- b. Es recomendable realizar un calentamiento lento para minorizar la generación de producto sólido o carbón pirolítico en la base del reactor.
- c. Se recomienda la aplicación del polietileno, ya que generan mayor cantidad de gasolina en la reacción térmica.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D., y Castro, L. (2021). *Diseño del proceso de pirólisis para la producción de biocombustibles a partir de residuos sólidos urbanos* (Trabajo de pregrado, Fundación Universidad de América]. Repositorio Institucional de América, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8645>
- Alvarado, L., y Reyes, M. (2022). *Obtención de productos combustibles líquidos para motores a partir de residuos plásticos domésticos no reciclables por medio de procesos pirolíticos* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cbb185c9-06b4-4f5b-b29e-592fca50ca2e/content>
- Angulo, M., y Torres, R. (2023). *Obtención de combustible líquido, mediante el proceso de pirólisis a partir de residuos plásticos* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26153/1/UPS-GT004648.pdf>
- Anuar, S., Abnisa, F., Wan, W., y Kheireddine M. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115(1), 308-326. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Asociación Automotriz del Perú. (2017). *Marco Técnico-Legal Exigencia de la Norma Euro IV y Calidad de combustibles*. Recuperado de <https://bit.ly/4gLVsZM>
- Balseca-Sampedro, O., Aquino-Arroba, S., Chela-Hinojosa, S., y Figueroa-Moreno, J. (2021). *Diseño de un prototipo de reactor de pirólisis térmica para la descomposición y aprovechamiento de residuos plásticos fabricados a partir de: PP, PE e PS. Polo del*

- Conocimiento*, 6(5), 394-425. Recuperado de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2668/html>
- Campos, C., y Tenazoa, F. (2018). *Combustibles Fuel-Oil obtenidos de residuos plásticos mediante pirólisis* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32380>
- Carranza, C., y Marreros, J. (2022). *Revisión sistemática de tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/116376>
- Cayllahua, B. (2014). *Laminas de Tereftalato de Polietileno Pet Reciclado* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2895>
- Chang, R., y Goldsby, K. (2013). *Química*. México. McGraw-Hill.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2010). *Derivados del petróleo. La gasolina*. Recuperado de <https://bit.ly/3XMPtuY>
- Czajczyńska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Reynolds, A., Spencer, N., y Jouhara, H. (2017). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 3, 171-197. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.06.003>
- Díaz, K. (2022). *Análisis del proceso de pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos* (Tesis de pregrado), Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7473>
- Geo Perú. (2024). Huaral. Recuperado de <https://visor.geoperu.gob.pe/>

- Gómez, J. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio ambiente: Un estado del arte* (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Cundinamarca, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10047>
- Google Maps. (2024). *Pampa de los Perros*. Recuperado de <https://bit.ly/4dtq3bE>
- Guillen, F., y Osorio, L. (2021). *Producción Piroclítica de Combustible a partir de Residuos Plásticos. Una revisión Sistemática* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104859>
- Huaytalla, D. (2019). *Implementación de un programa de producción más limpia en una planta de reciclaje mecánico de residuos de post-consumo: envase pet-poli (tereftalato de etileno)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3zEDc3O>
- León, D., y Jiménez, P. (2018). *Evaluación de la obtención de hidrocarburos mediante pirólisis a partir de residuos de HDPE y LDPE* (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6942>
- Lojano F. (2020). *Obtención de combustibles a partir de tereftalato de polietileno (Pet) a escala de laboratorio mediante procesos de pirólisis y gasificación* (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18901/1/UPS-CT008803.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Resolución Ministerial N.º 469-2021-MINEM/DM*. Recuperado de <https://bit.ly/3XVF5Bo>
- Ministerio del Ambiente. (s.f). *¿Por qué es necesario tomar conciencia?* Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru>

- Moot, R. (2006). *Mecánica de fluidos* (6ª ed). México: Pearson. Recuperado de <https://avdiaz.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
- Municipalidad Provincial de Huaral. (2013). *Decreto de Alcaldía N.º 008-2013-MPH*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/munihuaral/normas-legales/2741929-008-2013-mph>
- Orbegoso, L. (2023). *El conocimiento y su relación en la actitud ecológica frente a la contaminación por plásticos en estudiantes de nivel secundaria en el distrito de San Martín de Porres* (Trabajo de maestría). Universidad Nacional del Callao, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7539>
- Palma, H., y Tenesaca, F. (2020). *Estudio de la degradabilidad del pet (polietilentereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18373/4/UPS-CT008688.pdf>
- Palmay, P., Medina, C., y Vargas, K. (2021). Pirólisis de plásticos de invernadero para recuperar ceras líquidas útiles para refinación. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5(3), 24-64. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.464
- Panda, A. Singh, R., y Mishra, D. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233-248. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>
- Pinargote, L., y Sánchez, A. (2023). *Obtención de combustible a partir de residuos plásticos mediante el proceso de pirólisis* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica

- Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2085>
- Polanco, D. (2019). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de fuel oil a partir de residuos* (Tesis de pregrado). Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/232214546.pdf>
- Proaño, O., y Crespo, S. (2009). Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos. *Revista Politécnica*, 30(1), 137-144. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5522>
- Ramos, W., y Pretell, V. (2021). *Optimización y caracterización de combustibles líquidos obtenidos a partir de la pirólisis catalítica de residuos plásticos*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.95>
- Real Academia Española. (s.f.a). *Temperatura*. España. Recuperado de <https://dle.rae.es/temperatura>
- Real Academia Española. (s.f.b). *Presión*. España. Recuperado de <https://dle.rae.es/presi%C3%B3n>
- Real Academia Española. (s.f.c). *Rendimiento*. España. Recuperado de <https://dle.rae.es/rendimiento>
- Redondo, F. (2018). *Síntesis y caracterización de copolímeros bloque biocompatibles* (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4168>

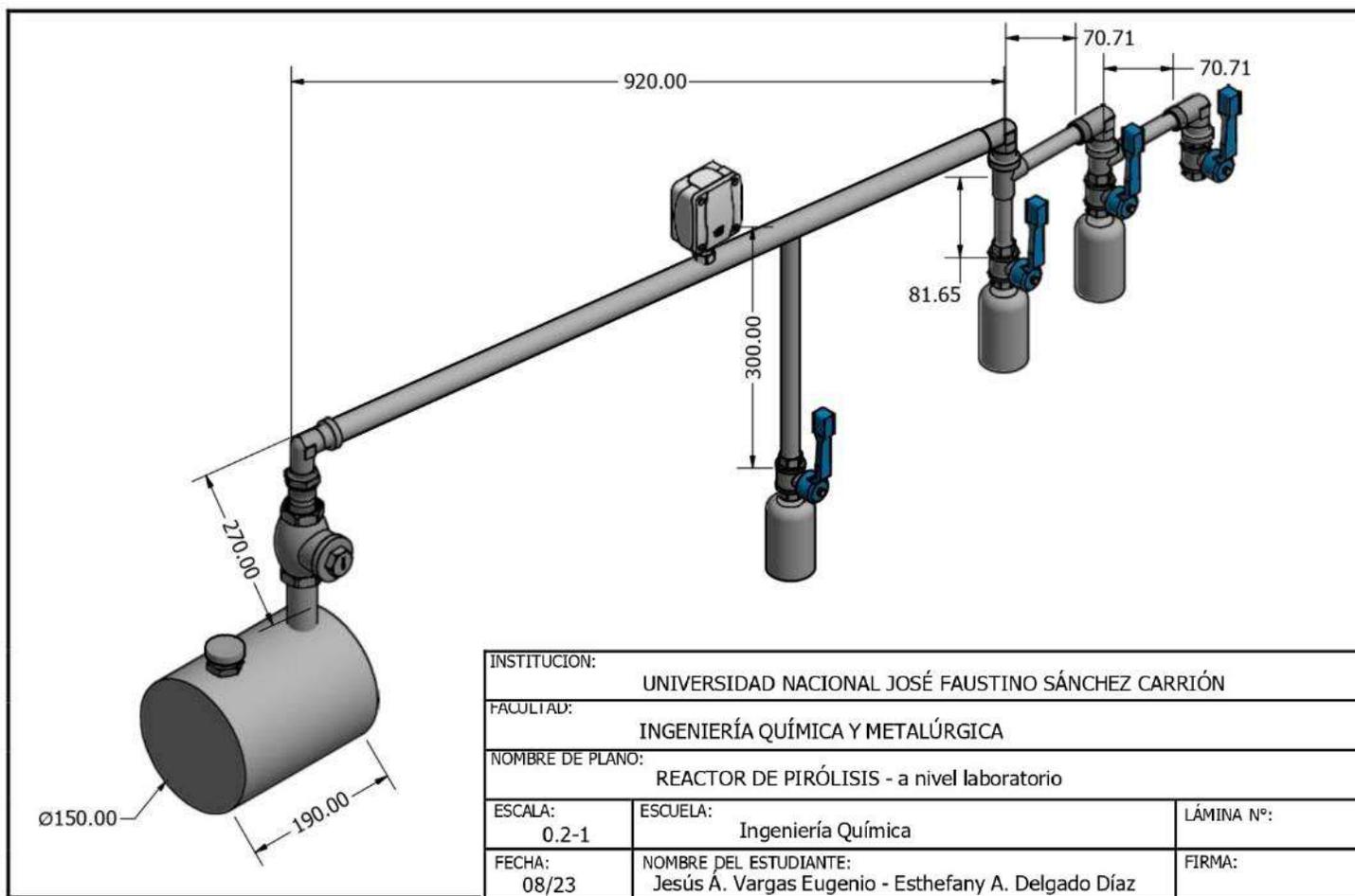
- Rejas, L., Carreón, B., Ortiz, M., Llanes, L., y Copa, M. (2015). *Generación de combustibles líquidos a partir de residuos plásticos*. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación, 10(11), 635-642. Recuperado de <https://bit.ly/3XLpV1n>
- Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf
- Rodríguez, L. (2019). *Producción de combustible por pirólisis de desechos plásticos* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, México. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12930/2568>
- Romero L., Cruz, M., y Sierra, F. (2016). Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma. *Tecnura* 20(48), 89-99. Recuperado de <https://bit.ly/4eIrZhq>
- Taipe, J. (2020). *Obtención de combustibles a partir de residuos de polipropileno reciclado, mediante pirólisis catalítica* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/3XMPnn6>
- Tigeros, D. (2021). *Evaluación del proceso de pirólisis por medio de la simulación en Aspen Plus para la obtención de combustible a partir de Tereftalato de Polietileno (PET)* (Tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. Recuperado de Universidad de Barcelona. (s.f.). *Polietileno de alta densidad*. Recuperado de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>
- Urien, A. (2013). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Educación a Distancia, España. <https://digital.csic.es/handle/10261/80225>

Vargas, M. (2020). *Evaluación de la pirólisis térmica y de la catalítica usando zeolitas volcánicas como catalizador de desechos plásticos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11561>

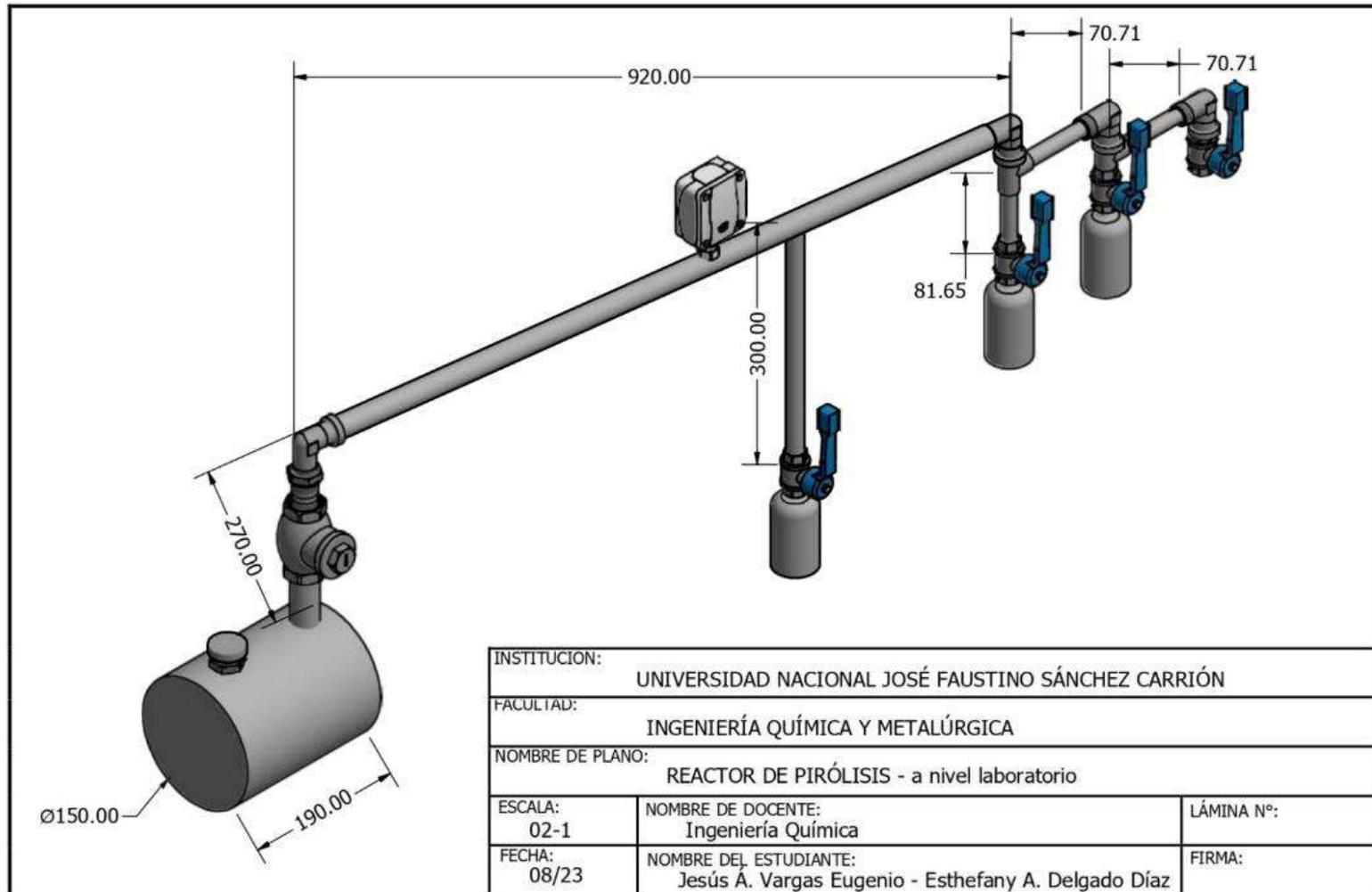
- Villalobos, A. (2018). *Estudio del agrietamiento por tensión ambiental de envases de Pet* (Tesis de especialización). Centro de investigación en química aplicada, Saltillo, México. Recuperado de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/553>
- Villamarín, M. (2015). *Análisis de la valorización energética de residuos sólidos urbanos del distrito metropolitano de Quito* (Tesis de maestría). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1487>
- Villegas, E., y Zamudio, V. (2022). *Influencia de la temperatura y el tamaño de partícula durante el proceso de pirólisis en el rendimiento del combustible líquido obtenido a partir de residuos del poliestireno expandido (EPS)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7668>
- Zavala, J. (2015). *Modelado y Simulación de un Proceso de Despolimeración Vía Pirólisis Catalítica Polietileno de Alta Densidad (PEAD)* (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, México. Recuperado de <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/327>

ANEXOS

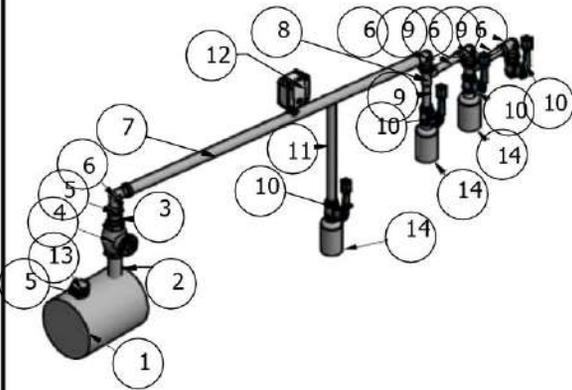
Anexo 1. Diseño del Proceso de obtención de combustible a partir de la pirólisis de plástico politereftalato de etileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE)



Anexo 2. Partes enumeradas del diseño del proceso



Anexo 3. Partes del Proceso Pirolítico



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	REACTOR	ACERO AL CARBONO- V=3357.57 cm ³
2	1	NIPLE	Largo= 8 cm, Acero inoxidable, Ø 1"
3	1	NIPLE	Nipple (MISUMI), Largo=0.3 Ø 1"
4	1	Válvula CHECK	FEMALE SWING CHECK VALVES, Largo=7 cm Ø 1"
5	2	Reductor Campana	D-Reducing nipple, Largo= 5cm Ø 1" - ¾"
6	4	CODO 90°	high pressure (6000 psi), Ø ¾"
7	1	TUBO	Largo = 84 cm Ø ¾"
8	2	Te	ANSI WELDED SCH10S TEES Ø 1/2"
9	3	NIPLE	Largo= 7.7 cm, Acero inoxidable, Ø 1"
10	4	Válvula de bola	ball valve, Acero Inoxidable Ø ½"
11	1	Tubo	Largo= 30 cm, Ø ½"
12	1	Manómetro	PREMASGARD®, 0 bar- 60 bar
13	1	Termómetro	Z7030- rango de -50 °C a 500 °C
14	3	Contenedor	Con capacidad de 1 litro

INSTITUCION:		
UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN		
FACULTAD:		
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA		
NOMBRE DE PLANO:		
REACTOR DE PIRÓLISIS - a nivel laboratorio		
ESCALA:	ESCUELA:	LÁMINA N°:
0.2-1	Ingeniería Química	
FECHA:	NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	FIRMA:
08/23	Jesús Á. Vargas Eugenio - Esthefany A. Delgado Díaz	

Anexo 4. Análisis de Laboratorio del combustible



Tecnologías Olimpo S.A.C.
Manejo de residuos sólidos y eliminación de plásticos.

☎ 944883244 - 928264821

✉ tecnologiasolimpoperu@gmail.com

📍 Asociación: Umopalca, Mzn F - Lote 6 - Sabandía

LABORATORIO DE ANALISIS PETROQUIMICO

ORDEN DE ANALISIS

Datos de cliente:

Cliente: Jesús Ángel Vargas Eugenio
DNI: 70769588
Telef.: 910480209
Direc: Asent. Contigo Perú, Mz N
Lote 5

Número de orden

#Solicitud: 001
Fecha: 04/08/2023
Fecha entrega: 11/08/2023

Tipo de muestra entregada: GASOLINA

PARÁMETRO	RESULTADO
RON	97/97.7
MON	87.7
AKI	92.7
%-H2O	0.123%

Responsable de análisis:
Tecnologías Olimpo SAC
RUC: 2061042802
Dirección: Umopalca

Anexo 5. Medición del porcentaje de agua

Anexo 6. Medición del octanaje del combustible

Anexo 7. Contaminación del basurero "Pampa de los Perros"-Huaral



Anexo 8. Recolección de residuos plásticos PET y HDPE del botadero "Pampa de los Perros",
Distrito de Huaral



Anexo 9. Cortado de Residuo plástico PET

Anexo 8. Cortado de residuo plástico HDPE



Anexo 9. Reactor reciclado casero



Anexo 10. Proceso Completo de obtención de combustible**Anexo 11.** Obtención de combustible

Anexo 12. Combustible**Anexo 13. Reciclo del gas resultante**

Anexo 14. Diesel (Otro Producto Resultante)**Anexo 15. Parafina (Resultante)**

Anexo 16. Litro de muestra para el análisis



Anexo 17. Crudo de la muestra



Anexo 18. Prueba de Inflamabilidad**Anexo 19. Carbón Pirolítico**

Anexo 20. Análisis de Densidad**Anexo 21.** Prueba en Moto Lineal del Combustible

Anexo 22. Prueba de motor encendido satisfactorio



Anexo 23. Prueba 1



Anexo 24. Extracción del producto final

Anexo 25. Prueba 2**Anexo 26. Productos Resultantes**

Anexo 27. Prueba 3**Anexo 28. Pesado de producto obtenido**

Anexo 29. Densidad del Agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Nota. Fuente: Mott, R. (2006)

Anexo 30. Matriz de consistencia: Obtención de combustible mediante pirólisis de residuos plásticos PET y HDPE del botadero del distrito de Huaral, 2023

Problemas de investigación	Objetivos de la investigación	Hipótesis de investigación	Variables	Diseño metodológico	Población y muestra
<p>GENERAL: ¿Será posible obtener combustible mediante pirólisis de residuos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?</p> <p>ESPECÍFICAS: - ¿De qué manera influye la temperatura en el proceso de la pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023? - ¿Es posible diseñar el proceso de pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023? - ¿Cómo caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirólisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023?</p>	<p>GENERAL: Obtener combustible mediante pirólisis de residuos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023</p> <p>ESPECÍFICOS: - Determinar cómo influye la temperatura en el proceso de la pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023. - Diseñar un método de proceso de pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023. - Caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirólisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023).</p>	<p>GENERAL: - Es posible obtener combustible a través de la <u>pirólisis</u> a partir de los residuos plásticos PET y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.</p> <p>ESPECÍFICAS: - Es posible determinar la temperatura en el proceso de la pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos PET Y HDPE del botadero del Distrito de Huaral, 2023. - Es posible diseñar el proceso de pirólisis para la obtención de combustible a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023. - Es posible caracterizar fisicoquímicamente el combustible obtenido en el proceso de pirólisis a partir de residuos plásticos tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) del botadero del Distrito de Huaral, 2023.</p>	<p>V1: Pirólisis de los residuos PET y HDPE</p> <p>V2: Combustible</p>	<p>TIPO: Aplicada y Experimental</p> <p>NIVEL: Exploratorio</p> <p>DISEÑO: Experimental</p>	<p>No es aplicable</p>