



CARRERA:
TECNICATURA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE**

TÉCNICO SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TEMA:
Pirolisis Inversa

AUTORES:

ANTHONY DANIEL GUACHAMIN ONTANEDA

DIRECTOR:

INGENIERO BELTRÁN RUIZ JOSE ANDRES

SANGOLQUÍ, AGOSTO, 2024



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.1

Sangolquí, 21 de marzo de 2025

**MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA**

**MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN**

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO
Presente**

Por medio de la presente, yo, Anthony Daniel Guachamín Ontaneda declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado Pirolisis inversa, de la Tecnicatura Superior Mecánica Automotriz; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario, los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Anthony Daniel Guachamín Ontaneda
C.I.: 1723350292

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2025-ISTER-3

CARRERA:

TÉCNICO SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTOR /ES:

ANTHONY DANIEL GUACHAMIN ONTANEDA

TUTOR (METODOLÓGICO Y ACADÉMICO):

INGENIERO. BELTRAN RUIZ JOSE ANDRES

CONTACTO ESTUDIANTE:

099202840

CORREO ELECTRÓNICO:

anthony.guachamin@ister.edu.ec

TEMA:

PIROLISIS INVERSA

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El petróleo sigue siendo una fuente esencial de energía, especialmente en el transporte, la industria y el sector residencial. Ante la problemática ambiental causada por los residuos plásticos, la pirolisis inversa se presenta como una alternativa viable para convertir estos desechos en combustibles aprovechables. Este proceso termoquímico permite la descomposición de plásticos en ausencia de oxígeno, generando hidrocarburos líquidos, gases y ceras, contribuyendo así a la economía circular y reduciendo la contaminación ambiental.

La investigación tiene como objetivo optimizar un reactor de pirolisis inversa en el Instituto Rumiñahui y desarrollar un manual de operación. Se realizaron diversas pruebas con distintos tipos de plásticos, obteniendo resultados variables en cuanto a la cantidad y calidad del combustible generado. Se implementaron mejoras en el reactor, como la sustitución de cañerías, la instalación de un sistema de enfriamiento con hielo y un tanque en espiral, y la incorporación de medidas de seguridad para evitar sobrepresiones.

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

 www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

Los experimentos demostraron que la temperatura, el tipo de plástico y el tiempo de proceso influyen en la cantidad y calidad del combustible obtenido. Se lograron producir líquidos inflamables, ceras y gases combustibles, con variaciones según el material procesado. Además, se estableció un manual de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la seguridad y eficiencia del reactor. Esta investigación resalta el potencial de la pirólisis inversa como una solución sostenible para la gestión de residuos plásticos y la producción de biocombustibles.

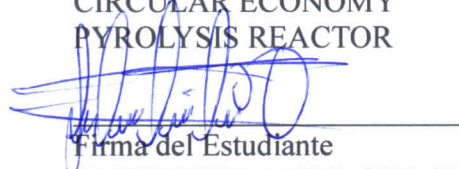
PALABRAS CLAVE:
PIROLISIS INVERSA
RESIDUOS PLÁSTICOS
BIOCOMBUSTIBLES
ECONOMÍA CIRCULAR
REACTOR DE PIROLISIS
ABSTRACT:

Oil remains an essential energy source, particularly in transportation, industry, and the residential sector. Given the environmental issues caused by plastic waste, reverse pyrolysis emerges as a viable alternative to convert these residues into usable fuels. This thermochemical process enables the decomposition of plastics in the absence of oxygen, generating liquid hydrocarbons, gases, and waxes, thus contributing to the circular economy and reducing environmental pollution.

The research aims to optimize a reverse pyrolysis reactor at the Rumiñahui Institute and develop an operation manual. Various tests were conducted with different types of plastics, yielding variable results in terms of the quantity and quality of the generated fuel. Improvements were implemented in the reactor, such as replacing pipes, installing a cooling system with ice and a spiral tank, and incorporating safety measures to prevent overpressure.

Experiments demonstrated that temperature, plastic type, and processing time influence the quantity and quality of the obtained fuel. The process successfully produced flammable liquids, waxes, and combustible gases, with variations depending on the processed material. Additionally, a preventive and corrective maintenance manual was established to ensure the reactor's safety and efficiency. This research highlights the potential of reverse pyrolysis as a sustainable solution for plastic waste management and biofuel production.

PALABRAS CLAVE:
REVERSE PYROLYSIS
PLASTIC WASTE
BIOFUELS
CIRCULAR ECONOMY
PYROLYSIS REACTOR



Firma del Estudiante

ANTHONY DANIEL GUACHAMIN ONTANEDA
C.I.: 1723350292



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 21 de marzo del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo Anthony Daniel Guachamín Ontaneda, con C.I.: 1723350292 alumno de la Carrera MECÁNICA AUTOMOTRIZ, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,

Firma del Estudiante

Anthony Daniel Guachamín Ontaneda

C.I.: 1723350292

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	4
CADA INDICE EN HOJAS SEPARADAS	4
RESUMEN.....	5
CAPÍTULO 1	6
INTRODUCCIÓN	6
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1. OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. FUNDAMENTOS DE LA PIROLISIS INVERSA.....	8
2.2. VENTAJAS DEL PROCESO	8
2.3. NORMATIVAS Y SEGURIDAD.....	8
2.4. IMPACTO AMBIENTAL.....	9
ANTECEDENTES.....	9
CAPÍTULO 3.....	11
3.1 Funcionamiento del reactor (detallar en una tabla y mediante diagrama de bloques)	11
3.1 Estado del reactor	13
3.2 Correcciones realizadas (explicar que es lo que se ajustó en el reactor de pirólisis inversa para que este funcione).....	14
3.3 Qué resultados obtuvo	15
3.4 manual de uso.....	18
3.5 manual de mantenimiento	19
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	11
Tabla 2	12
Tabla 3.....	14
Tabla 4.....	15

Tabla 5.....	16
Tabla 6.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	17
Figura 2.....	18

RESUMEN

El petróleo sigue siendo una fuente esencial de energía, especialmente en el transporte, la industria y el sector residencial. Ante la problemática ambiental causada por los residuos plásticos, la pirolisis inversa se presenta como una alternativa viable para convertir estos desechos en combustibles aprovechables. Este proceso termoquímico permite la descomposición de plásticos en ausencia de oxígeno, generando hidrocarburos líquidos, gases y ceras, contribuyendo así a la economía circular y reduciendo la contaminación ambiental.

La investigación tiene como objetivo optimizar un reactor de pirolisis inversa en el Instituto Rumiñahui y desarrollar un manual de operación. Se realizaron diversas pruebas con distintos tipos de plásticos, obteniendo resultados variables en cuanto a la cantidad y calidad del combustible generado. Se implementaron mejoras en el reactor, como la sustitución de cañerías, la instalación de un sistema de enfriamiento con hielo y un tanque en espiral, y la incorporación de medidas de seguridad para evitar sobrepresiones.

Los experimentos demostraron que la temperatura, el tipo de plástico y el tiempo de proceso influyen en la cantidad y calidad del combustible obtenido. Se lograron producir líquidos inflamables, ceras y gases combustibles, con variaciones según el material procesado. Además, se estableció un manual de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la seguridad y eficiencia del reactor. Esta investigación resalta el potencial de la pirolisis inversa como una solución sostenible para la gestión de residuos plásticos y la producción de biocombustibles.

Abstrac

Oil remains an essential energy source, particularly in transportation, industry, and the residential sector. Given the environmental issues caused by plastic waste, reverse pyrolysis emerges as a viable alternative to convert these residues into usable fuels. This thermochemical process enables the decomposition of plastics in the absence of oxygen, generating liquid hydrocarbons, gases, and waxes, thus contributing to the circular economy and reducing environmental pollution.

The research aims to optimize a reverse pyrolysis reactor at the Rumiñahui Institute and develop an operation manual. Various tests were conducted with different types of plastics, yielding variable results in terms of the quantity and quality of the generated fuel. Improvements were implemented in the reactor, such as replacing pipes, installing a cooling system with ice and a spiral tank, and incorporating safety measures to prevent overpressure.

Experiments demonstrated that temperature, plastic type, and processing time influence the quantity and quality of the obtained fuel. The process successfully produced flammable liquids, waxes, and combustible gases, with variations depending on the processed material. Additionally, a preventive and corrective maintenance manual was established to ensure the reactor's safety and efficiency. This research highlights the potential of reverse pyrolysis as a sustainable solution for plastic waste management and biofuel production.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El petróleo sigue siendo una fuente crucial de energía a nivel mundial, con su uso distribuido en varios sectores. En el sector del transporte, se estima que aproximadamente el 55% del petróleo consumido se destina a este ámbito, donde los combustibles fósiles son esenciales para automóviles, camiones y aviones. En el sector residencial, alrededor del 4% del consumo total de petróleo se utiliza para calefacción y cocción, mientras que, en la industria, este recurso representa cerca del 30% del consumo energético, utilizado principalmente en procesos de fabricación y generación de electricidad. A pesar de la creciente transición hacia energías renovables, el petróleo sigue siendo fundamental, representando aproximadamente el 31% del consumo global de energía en 2023 (Roca 2024).

La generación de un reactor de pirolisis para convertir botellas de plástico en combustible ofrece numerosas ventajas. En primer lugar, este proceso ayuda a reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos o en el océano, contribuyendo así a la disminución de la contaminación ambiental. Además, la pirolisis permite recuperar recursos al transformar plásticos considerados desechos en combustibles líquidos y gaseosos, lo que maximiza el uso de materiales que de otro modo se desperdiciarían.

Otro beneficio importante es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Al procesar plásticos en lugar de quemarlos, se minimiza la liberación de contaminantes, lo que ayuda a mitigar el cambio climático. Este enfoque también fomenta un ciclo de economía circular, donde los plásticos se reutilizan para generar energía, disminuyendo nuestra dependencia de combustibles fósiles (Morocho Delgado, 2019).

1.2 Justificación del problema

El uso de un reactor de pirolisis inversa para convertir botellas plásticas en combustible se justifica por su capacidad para abordar la creciente problemática de los residuos plásticos, transformándolos en recursos valiosos en lugar de desechos. Este proceso no solo reduce la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de plástico en vertederos mismos que tienen una

degradación muy lenta (¿Cuál es el tiempo de degradación de los residuos inorgánicos?, 2023), sino que también promueve la economía circular y la seguridad energética al diversificar las fuentes de energía. Además, representa una oportunidad académica para investigar y desarrollar tecnologías sostenibles.

1.3 Alcance de la investigación

Mediante la presente investigación se pretende habilitar el reactor de pirólisis inversa del Instituto Rumiñahui y generar un manual de uso del mismo, esta actividad permitirá generar diversas investigaciones futuras.

1.1.Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el reactor de pirólisis inversa, para obtener combustible a partir de botellas plásticas recicladas, además de desarrollar un manual de funcionamiento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el funcionamiento del reactor de pirólisis inversa, mediante pruebas realizadas, para identificar puntos de optimización.
- Investigar y seleccionar los tipos de plásticos más adecuados para el proceso de pirólisis inversa, con el fin de maximizar la eficiencia en la producción de combustible.
- Desarrollar un manual de operación del reactor de pirólisis inversa, asegurándose de que se trabaje con valores que cumplan normas de seguridad industrial.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

La pirólisis inversa es un proceso termoquímico que convierte materiales orgánicos, particularmente plásticos, en combustibles y otros productos útiles a través de la descomposición térmica en ausencia de oxígeno. Este proceso se destaca como una solución innovadora para la gestión de residuos plásticos, un problema ambiental crítico que afecta ecosistemas y la salud pública (Aponte Figueroa, 2023)

2.1. Fundamentos de la Pirólisis Inversa

La pirólisis inversa se diferencia de la pirólisis convencional en que se enfoca en la transformación de plásticos reciclados en combustibles, en lugar de generar carbón o cenizas. Durante el proceso, los plásticos se calientan a temperaturas que oscilan entre 300 y 600 °C, lo que provoca su descomposición en hidrocarburos líquidos, gases y carbón (García, María, 2021). Estos productos pueden ser utilizados como combustibles en diversas aplicaciones, contribuyendo a la economía circular al reintegrar materiales en la cadena de valor, además de que se puede generar combustible, disminuyendo el uso de petróleo, siendo una iniciativa adecuada para implementar biocombustibles.

2.2. Ventajas del Proceso

Una de las principales ventajas de la pirólisis inversa es la reducción significativa de residuos plásticos, este proceso puede reducir hasta un 90% el volumen de plásticos en vertederos, contribuyendo a mitigar la contaminación ambiental. Además, el combustible producido es una alternativa viable a los combustibles fósiles, lo que puede disminuir la dependencia de estos recursos no renovables (Roncancio Cardona, 2016), sin embargo, en la actualidad no hay iniciativas en el Ecuador que promuevan este tipo de biocombustibles a gran escala, principalmente el reciclaje de plásticos se da con fines de reutilización.

2.3. Normativas y Seguridad

El desarrollo y operación de un reactor de pirólisis inversa deben cumplir con normativas de

seguridad industrial, ya que al ser un elemento que trabaja bajo elevadas presiones y temperaturas necesita de un constante monitoreo. En el presente trabajo se determinará la implementación de protocolos que aseguren un manejo seguro del reactor y los procesos que se desarrollan la obtención de biocombustible. Esto incluye la capacitación del personal y la elaboración de manuales de operación que contemplen medidas de seguridad adecuadas.

2.4. Impacto Ambiental

El análisis del impacto ambiental de la pirólisis inversa es fundamental para evaluar su sostenibilidad. Varios estudios han demostrado que, si se realiza adecuadamente, este proceso puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la incineración de plásticos (Zurita, Carolina, 2021). Sin embargo, es necesario monitorear las emisiones generadas durante el proceso para asegurar que se mantengan dentro de los límites permitidos por las normativas ambientales.

2.5. Antecedentes

La preocupación por la creciente acumulación de residuos plásticos ha llevado a la búsqueda de soluciones sostenibles que permitan su manejo adecuado. Diversos estudios han abordado la pirólisis inversa como una alternativa viable para transformar plásticos en combustibles, destacando su potencial para reducir la cantidad de desechos en vertederos y su contribución a la economía circular (Aponte Figueroa, 2023). Investigaciones previas han demostrado que la pirólisis inversa no solo facilita la recuperación de energía, sino que también genera productos que pueden ser utilizados como biocombustibles, contribuyendo a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles (Roncancio Cardona, 2016). A pesar de sus beneficios, la implementación de esta tecnología en países como Ecuador enfrenta desafíos significativos, incluyendo la falta de iniciativas a gran escala y la necesidad de un marco normativo que garantice la seguridad y sostenibilidad del proceso (Zurita, Carolina, 2021). Estos antecedentes subrayan la importancia de investigar y desarrollar proyectos que integren la pirólisis inversa en la gestión de residuos plásticos, promoviendo así una transición hacia un modelo más sostenible y eficiente.

Capítulo 3

RESULTADOS

Mediante las diversas prácticas realizadas con el tanque de pirólisis se obtuvo una amplia variedad de resultados, para lo cual se emplearon materiales diversos como:

Plástico PET (Tereftalato de Polietileno): Normalmente lo encontramos en botellas de agua, refresco, jugos, aceites comestibles.

Plástico HDPE (polietileno de alta densidad) normalmente es usado en envases para leche, detergentes, utensilios diversos, juguetes, bolsas de supermercado, tuberías y una gran variedad de aplicaciones industriales.

Los resultados obtenidos

Cera: esto fue uno de los últimos resultados que se obtuvo acompañado con el combustible en la última práctica

Combustible tipo diésel: fue la condensación que se recibió en el primer tanque el cual se acumuló en mayor cantidad

3.1 Funcionamiento del reactor

1. Valorización Del Material Reciclado

La producción de combustible se inicia con la máquina de pirólisis inversa, calculando el plástico triturado, especialmente los desechos plásticos HPHE para aumentar la concentración de gas y maximizar la producción de combustible.

2. Introducción De Residuos HPHE

Ubicamos los desechos plásticos triturados en la base del horno, colocamos la cubierta del horno con sus correspondientes pernos que deben estar bien ajustados para evitar posibles fugas y conseguir la presión requerida.

3. Preparación Para La Reutilización En Un Ambiente Controlado

Se procede a conectar el cilindro de gas a la válvula principal de la unidad del reactor, que alimentará y promoverá el encendido a la máquina de pirólisis inversa la cual da inicio a todo el abastecimiento de combustible. Al encender el horno se puede controlar mediante su perilla y aumentando así sus altas temperaturas lo que provoca que los residuos plásticos HPHE se descompongan en un tiempo determinado.

4. Condensación

Al instalar varias llaves de paso se logró concentrar la presión en un solo lugar y también la facilidad de controlar la presión, al igual la satisfacción de colocar una cama de enfriamiento lo cual hace que enfríen y se pueda condensar para la obtención de fluidos líquidos y así los gases que quedan son reutilizados para la misma máquina.

5. Tratamiento Y Aprovechamiento De Los Productos

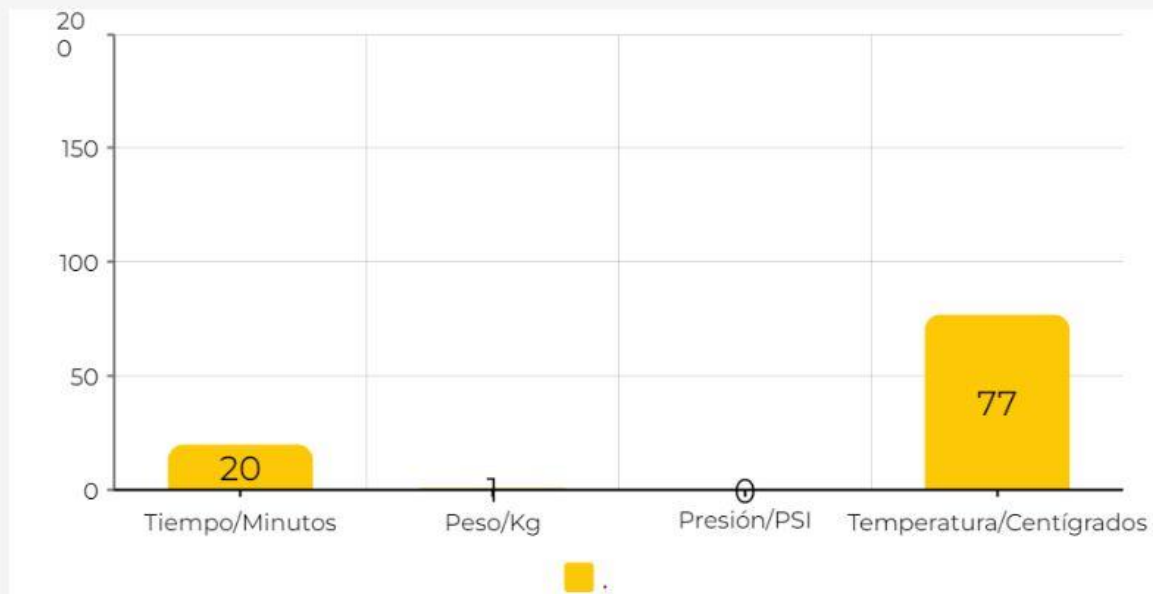
Todo lo obtenido se pudo lograr gracias a sus respectivos procedimientos y modificaciones apropiadas en la máquina con la cual para la obtención de estos fluidos líquidos los cuales serán sometidos a tratamientos especiales de purificación y pruebas de funcionamiento.





Pirolisis Inversa

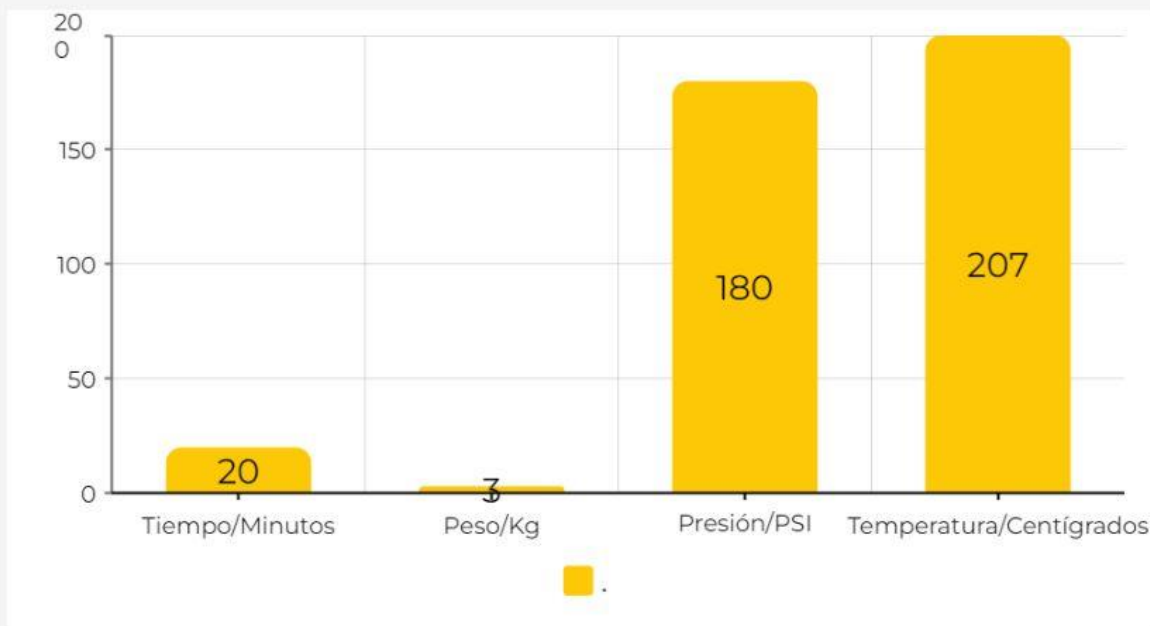
Practica 1





Pirolisis Inversa

Practica 2



3.1 Estado del reactor

El equipo de pirólisis fue entregado por el tutor de carrera del Instituto superior Rumiñahui, el cual estaba constituido por el caldero de acero inoxidable con un sistema de encendido a gas, con un medidor de temperatura, medidor de presión, empaques, pernos, tuercas, llaves de paso, estaba incorporado por un serpentín y tanque de almacenamiento reciclado además poseía tubo de acero inoxidable de media.

El reactor fue recibido desarmado, el caldero poseía fallas en mantener a temperatura deseada ya que tenía una entrada de aire la cual impedía llegar a los grados necesarios, sus manómetros de temperatura su medición era en grados centígrados y el de presión en PSI, estaban en buenas condiciones así como los empaques pernos y tuercas, además, de esto contaba con llaves de paso

para mantener la presión necesaria, el serpentín no guardaba la temperatura necesaria para la condensación de los gases ya que su zona de enfriamiento no estaba bien ubicada, contaba también con un tubo de acero inoxidable este sufría de taponamientos lo cual impedía la salida de los gases por último contaba con un recipiente reciclado en donde se recibía la materia líquida.

3.2 Correcciones realizadas

1. Introducción

El proceso de pirólisis inversa es una técnica prometedora para la conversión de residuos plásticos en combustibles, mediante la descomposición térmica en un ambiente carente de oxígeno. La eficiencia de este proceso depende en gran medida del diseño y la adecuación del equipo utilizado, que debe permitir un control preciso sobre las condiciones de operación, como la temperatura y la presión.

En los apartados siguientes se describen las modificaciones realizadas, con un enfoque en los objetivos de estas mejoras y su impacto en el proceso general.

Sustitución de cañerías por tubos galvanizados de media pulgada

Finalmente, se dejó una toma abierta en el sistema, que permite el desfogue y la liberación de presión acumulada durante el proceso. Esta medida es esencial para evitar sobrepresiones que podrían dañar el equipo o representar un riesgo para la seguridad. La toma de desfogue también facilita el mantenimiento del sistema, permitiendo una ventilación controlada del equipo después de cada ciclo de pirólisis

2.1. Construcción de una tina de enfriamiento con hielo

Para mejorar el enfriamiento de los vapores generados durante el proceso de pirólisis, se construyó una tina de enfriamiento que utiliza hielo como medio refrigerante. Esta tina cubre completamente el tubo galvanizado en la salida del tanque de pirólisis, permitiendo un enfriamiento rápido y eficiente de los vapores. La disminución de la temperatura en esta etapa es crucial para la condensación adecuada de los productos gaseosos, facilitando su recolección en estado líquido.

2.2. Instalación de una manguera de alta presión y sistema de enfriamiento en espiral

A la salida de la tina de enfriamiento, se conectó una manguera de alta presión que se introduce en un tanque de agua. La manguera fue dispuesta en forma de espiral dentro del tanque, asegurando que esté completamente sumergida en agua. Este diseño permite un enfriamiento adicional de los vapores, aprovechando la alta capacidad térmica del agua para reducir la temperatura del gas antes de su recolección en los tanques de almacenamiento.

Inicialmente, se consideró el uso de tuberías de cobre, pero se optó por tubos galvanizados de media pulgada debido a su mayor resistencia mecánica y durabilidad en ambientes de alta temperatura. Este cambio asegura que las cañerías mantengan su integridad durante todo el proceso de pirólisis, evitando deformaciones o daños que pudieran causar fugas o fallos en el sistema. Además, el

galvanizado proporciona una protección adicional contra la corrosión, extendiendo la vida útil del equipo.

2.3. Implementación de tanques de almacenamiento soldadas a las líneas de tubo galvanizado

Se incorporaron tres tanques de almacenamiento que fueron soldados directamente a las líneas de tubo galvanizado. Estos tanques están diseñados para acumular los productos resultantes de la pirólisis, facilitando su manejo y posterior utilización. La soldadura asegura una conexión hermética entre las cañerías y los tanques, minimizando las pérdidas y garantizando la seguridad del sistema.

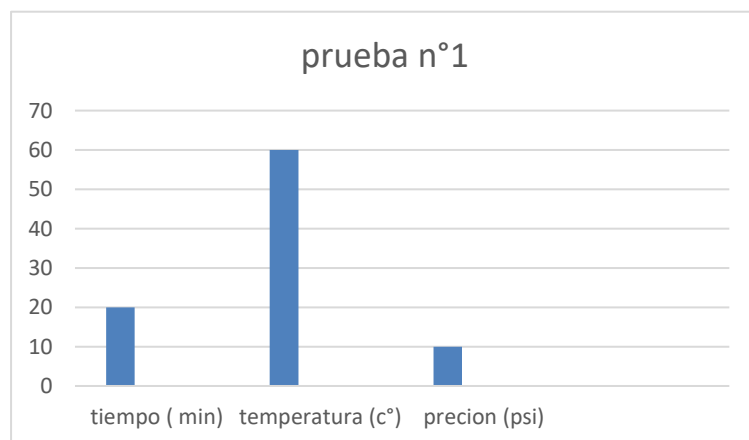
2.4. Incorporación de una toma de desfogue para liberación de presión

Finalmente, se dejó una toma abierta en el sistema, que permite el desfogue y la liberación de presión acumulada durante el proceso. Esta medida es esencial para evitar sobrepresiones que podrían dañar el equipo o representar un riesgo para la seguridad. La toma de desfogue también facilita el mantenimiento del sistema, permitiendo una ventilación controlada del equipo después de cada ciclo de pirólisis.

3.3 Qué resultados obtuvo

Primera prueba

Toda la cantidad de 3kilos de botellas de plástico delgadas y cortadas en pequeños pedazos concentrada en el caldero preparado para altas temperaturas sin tener un sistema de enfriamiento solamente 3 tanques de destilación con una temperatura de 60°C y un tiempo de 20min y una presión de 0psi terminando con un resultado de gas inflamable y un tipo cera sebosa color amarillo y dentro una ceniza color negro

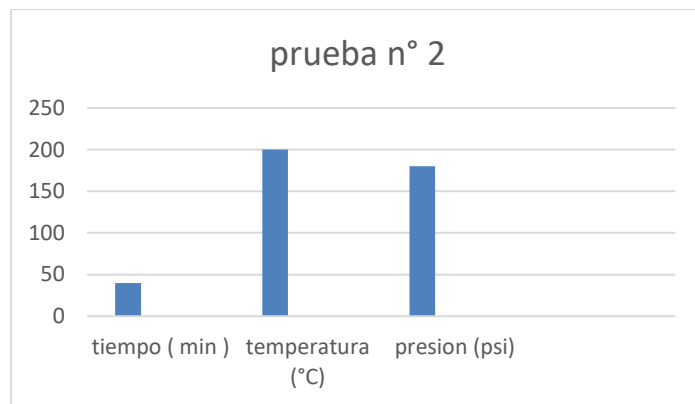


El gas inflamable no tiene todas sus propiedades para poder ser de alta peligrosidad solo sirvió para realizar una pequeña prueba de encender durante un tiempo de 5 a 10 segundos para poder comprobar que si es un gas inflamable.

La cera tiene propiedades químicas que son tipo vela se empieza a derretir, pero no se apaga el fuego hasta que se consume toda sin apagarse el fuego

Segunda Prueba

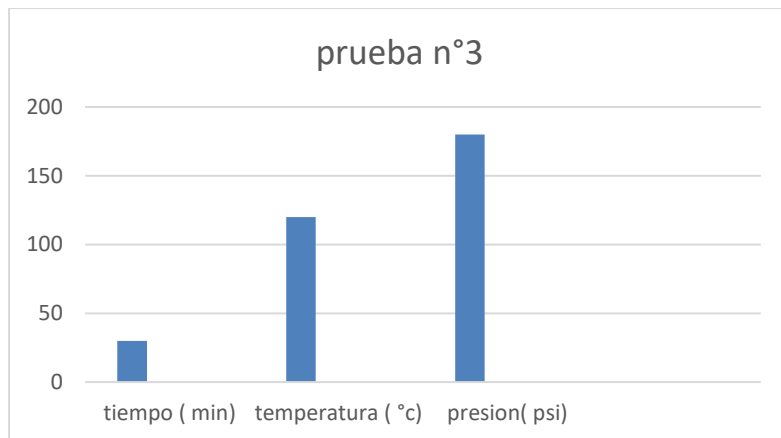
Como se aprecia en los resultados a más tiempo se consume todo el plástico en una descomposición térmica y una temperatura más alta con una cantidad de 3 kilos y un sistema de enfriamiento llegando a obtener en los primeros 30min mas gas inflamable y con una presión de 180 psi notamos que en los tanques de destilación se calentaban más abriendo la primera válvula salieron pocas gotas de todo el almacenamiento gaseoso que se produjo dentro del tanque pero no fue inflamable realizando igualmente la prueba del gas que si tuvo relación con él fuego al momento de encender se pudo enviar nuevamente el gas hacia el caldero principal dentro de 15 seg a 20 seg. También la cera producida alrededor por dentro de las tuberías igualmente notamos que al momento de enfriarse se convertía en una cera más dura.



Tercera Prueba

Con un material distinto más grueso usando 6 galones de aceites vacíos y una temperatura de 120°C con un tiempo de 30min tenemos el gas inflamable en los tanques de destilación logramos un líquido de color amarillo con pequeñas partículas de cera.

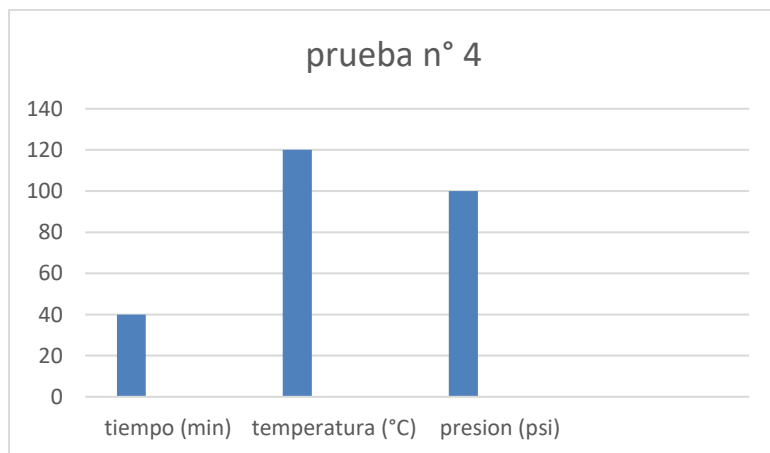
Y un gas demasiado toxico de color blanco que también es inflamable.



Cuarta prueba

con el material más grueso de plástico que pesaba kilos y un tiempo de 30 a 40 min con una temperatura de 120°C la descomposición del material fue más absoluta logrando que la presión de 180 psi acumulada pueda comprimir todo el gas y enviar por los conductos hacia el sistema de enfriamiento y destilación de almacenamiento obteniendo un líquido inflamable que fue probado con fuego y encendiendo al instante como podemos notar en cada tanque fue separado y el contenido de cada uno fue cambiando del primero hasta el 3er tanque que fue el líquido más limpio.

Con una menor cantidad de cera ya que todo lo que se obtuvo fue líquido y un gas inflamable al momento de abrir todas las válvulas.



3.4 manual de uso

PIROLISIS INVERSA

Manual de uso





Recepción y Almacenamiento del Material

El material se recibe y verifica para clasificar al tipo de plástico que corresponda y se almacena en un lugar seco para mantener un óptimo proceso al momento de su quema.

1

2

Preparación del Material

Recortar o triturar las botellas para reducir su tamaño lo cual facilita un calentamiento uniforme en el reactor además se debe inspeccionar y eliminar materiales no deseados o contaminantes que puedan interferir con el proceso.

3

Alimentación y sellado del Reactor

Se pesa el material para conocer la cantidad que se coloca en el reactor una vez colocado se procede a sellar la tapa del reactor con sus respectivos pernos para lograr el completo aislamiento del oxígeno en la caldera.



3.5 manual de mantenimiento

Este manual ofrece información sobre el mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina de pirólisis modificada con una zona de enfriamiento y 3 tanques lo importante es garantizar un funcionamiento seguro del sistema y así evitar el riesgo de fallos y aumentado la vida útil

1.MANTENIMIENTO PREVENTIVO

1.1. Inspección Regular

- Inspeccionar el estado físico de los tanques y las conexiones para evitar alguna fuga al momento de usar el reactor.
- Limpiar y revisar los manómetros de temperatura y presión para tener lecturas precisas.
- Revisar y ajustar la zona de enfriamiento.
- Realizar una observación del quemador del reactor.
- Verificar la tapa del tanque y el empaque si se encuentra en buen estado y realizar una limpieza.

- Desarrollar una inspección y limpieza del sistema completo de la máquina de pirólisis, manómetros de presión temperatura, zona de enfriamiento, tuberías, quemador, mangueras de gas y revisar si no hay golpes o fugas.
- Examinar si es necesario cambiar elementos que ya no funcionen.

2.PROCEDIMIENTOS GENERALES

2.1. Limpieza

Mantener aseado el reactor y los tanques.

Limpiar regularmente las tuberías y zona de enfriamiento.

Verificar los sellos de las tuberías y la tapa del reactor y si es necesario cambiar.

3.MANTENIMIENTO CORRECTIVO

3.1. Problemas comunes

Fugas en las conexiones o tanques

Fallas en el sistema de enfriamiento

Fallos en los manómetros de presión y temperatura

3.2. Diagnóstico

Efectuar pruebas para verificar que elemento está fallando y poder mejorarlo o cambiar el componente que esté fallando.

3.3. Procedimiento de reparación

Fugas: Revisamos de donde proviene la fuga y después de haber detectado desacoplamos las tuberías y volvemos a poner teflón con pegamento y volvemos armar el sistema para resolver el problema.

Zona de enfriamiento: Verificamos si hay fugas de gas ajustamos y colocamos el suficiente hielo para que funcione correctamente. (Antes de encender el reactor color el hielo para que al momento de que el gas se genere la zona esté bien fría)

Manómetro de presión y temperatura: Verificar en la tapa del reactor si no está tapado los orificios que van a los manómetros y si es necesario cambiar estos elementos.

4.SEGURIDAD

4.1. Elementos de seguridad:

Protección de la cabeza: Cascos de seguridad o gorras, gorros de protección.

Protección de los ojos y la cara: Gafas de seguridad.

Protección del sistema respiratorio: Máscaras, respiradores y filtros.

Protección de las manos y brazos: Guantes, mangas y muñequeras.

Protección de los pies y piernas: Botas de seguridad.

Protección del cuerpo: Ropa de trabajo, trajes de protección y chalecos.

- Antes de utilizar el equipo asegúrese de que esté 100% funcional para evitar accidentes.

4.2. Procedimiento de emergencia

Antes de usar la máquina hay que investigar, informarse sobre cómo funciona y procedimientos de emergencia que se presenten en caso de fallos graves.

Tener un kit de primeros auxilios accesibles y en buen estado.

5.DOCUMENTACIÓN

5.1. Registro de mantenimiento

Llevar un registro detallado de las actividades de mantenimiento realizadas.

Documentar algún fallo y las acciones correctivas que se tomaron.

ADICIONAL

Después de haber utilizado el Reactor de pirólisis realizar una limpieza dentro de la máquina y revisar tanque, zona de enfriamiento y tuberías

6.MANUAL

Revisar y actualizar el manual si se adiciona alguna modificación a la máquina de pirólisis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendación

Es muy importante contar con equipos de seguridad incluyendo ropa resistente al fuego, guantes, gafas de seguridad y su adecuada mascarilla que son muy valiosos para proteger nuestra salud y la de los demás. También se debe tener en disposición su respectivo extintor en caso de cualquier emergencia.

Construir un reactor o caldero adecuado para soportar una presión de más de 200 psi para un resultado más eficaz a través de una temperatura súper alta y una manipulación sencilla al momento de abrir las válvulas por donde va transportar el gas o líquido.

Mejorar la separación de combustibles o resultados diésel, gasolina por la utilización de tanques de almacenamiento de destilación

Tratar de utilizar un sistema de catalizador para el olor de gases tóxicos e inflamables o también una realimentación hacia el mismo caldero.

Conclusiones

los productos obtenidos en todo el proceso de pirolisis inversa se encuentran en 3 etapas de solido a gaseoso y liquido con altas temperaturas más de 100°C todo el material se funde por dentro convirtiéndose en un líquido inflamable y también una cera color amarillo que se puede utilizar como una mecha de fuego consumiéndose y sin apagarse en su totalidad acabado en ceniza.

En el producto gaseosos tenemos gas inflamable, dióxido de carbono como tal al momento de cerrar el caldero se tiene aire inicial.

Al implementar diversas modificaciones, se produjeron varios hallazgos positivos, en la cuarta práctica obtuvimos una gran cantidad de combustible donde se pudo notar que el material HPHE es el más indicado para la obtención de los mismos y así llegamos a la conclusión que mientras se use este material plástico y se mejore el recipiente de enfriamiento mejor será la condensación y a su vez mejores resultados finales se obtendrán.

BIBLIOGRAFÍA

- Aponte Figueroa, G. M. (2023). Producción de combustibles a partir de desechos plásticos mediante procesos de reciclado químico. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 17(1), 32-46.
- ¿Cuál es el tiempo de degradación de los residuos inorgánicos? (2023, septiembre 14). Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/>
- García, María. (2021, mayo 28). *Sostenibilidad, retos tecnológicos y circularidad en la reutilización de residuos agroalimentarios típicos de la cuenca mediterránea*. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9452>
- Morocho Delgado, S. K. (2019). *Obtención de combustible mediante pirólisis térmica a partir de polipropileno reciclado*. [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13804>
- Roca25/02/2024, J. A. (2024, febrero 26). *Los alcistas del petróleo entran en juego en 2024*. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/alcistas-petroleo-juego-2024/>
- Roncancio Cardona, K. L. (2016). Análisis de alternativas tecnológicas para la valorización y disposición final de residuos plásticos en la ciudad de Manizales. *Universidad Católica de Manizales*. <https://repositorio.ucm.edu.co/jspui/handle/10839/1331>
- Zurita, Carolina. (2021, marzo 23). *AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD 15 – Revista Elements*. <https://revista.elementsgroup.com.ec/ambiente-y-sostenibilidad-15/>

Czernik, S., & Bridgwater, A. V. (2004). Descripción general de las aplicaciones del aceite de pirólisis rápida de biomasa. *Energía y Combustibles*, 18(2), 590-598.
<https://doi.org/10.1021/ef034067u>

Tripathi, M., Sahu, J., & Ganesan, P. (2016). Efecto de los parámetros del proceso en la producción de biocombustible a partir de residuos de biomasa mediante pirólisis: una revisión. *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, 55, 467-481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>

Sharma, R. K., & Wooten, J. B. (2004). Mezcla de etanol y gasolina como referencia a otros combustibles menos contaminantes 83(11-12), 1469-1482. doi:10.1016/j.fuel.2003.11.012

Ringer, M., Putsche, V. y Scahill, J. (2006). Producción de aceite de pirólisis a gran escala: evaluación tecnológica y análisis económico. Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL).

CO-PIRÓLISIS DE LA MEZCLA DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA y RESIDUOS PLÁSTICOS. (2023). Perfiles. <https://perfiles.esPOCH.edu.ec/index.php/perfiles/article/view/207>

Tutor, M. D. P. R. (2022). Evaluación del proceso de Pirólisis para la producción de combustible a partir de reciclado de plástico en la Ciudad de La Paz.
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/30990>

Yoselin, C. S. A. (2021, 20 enero). Propuesta de implementación de logística inversa para los envases de plástico de la cadena de suministros de una empresa de bebidas, utilizando el modelo SCOR, en la ciudad de Arequipa. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/9135e6cf-d164-4731-90ac-3f2b99a30474>

MOROCHO DELGADO, S. K. (2019). INGENIERA QUÍMICA [Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/13804/1/96T00569.pdf>

BARZOLA NÚÑEZ, A. R. (2023). CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PIRÓLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS. [Trabajo De Integración Curricular Tipo: Proyecto de Investigación, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/22059/1/236T0856.pdf>

ZAMBRANO BONILLA, M. E. (2021). OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLE a PARTIR DE LA PIRÓLISIS TÉRMICA DE MEZCLAS DE POLIPROPILENO y POLIESTIRENO RECICLADOS [Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto de Investigación, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16917/1/96T00749.pdf>

Anexos

Información adicional que complementa lo desarrollado en el proyecto

PIROLISIS INVERSA

Manual de uso





Recepción y Almacenamiento del Material

El material se recibe y verifica para clasificar al tipo de plástico que corresponda y se almacena en un lugar seco para mantener un óptimo proceso al momento de su quema.

1

2

Preparación del Material

Recortar o triturar las botellas para reducir su tamaño lo cual facilita un calentamiento uniforme en el reactor además se debe inspeccionar y eliminar materiales no deseados o contaminantes que puedan interferir con el proceso.

3

Alimentación y sellado del Reactor

Se pesa el material para conocer la cantidad que se coloca en el reactor una vez colocado se procede a sellar la tapa del reactor con sus respectivos pernos para lograr el completo aislamiento del oxígeno en la caldera.



Revisión y encendido del reactor

Se procede a revisar si todas las mangueras están conectadas, si todos los pernos se encuentran puestos y si está conectado al tanque de gas, una vez realizado esto se procede a encender con sumo cuidado el mechero para comenzar el proceso.

4

5



Reacción de Pirólisis

El material de alimentación es calentado en ausencia de oxígeno en el reactor, descomponiéndose térmicamente para formar gases, líquidos y residuos sólidos, se debe tener un control preciso de la temperatura y el tiempo de resistencia para obtener los productos deseados.

6



Condensación y Recolección de Productos.

Los vapores generados en el reactor se enfrían y condensan para formar líquidos y gases, este se recolecta en tanques de almacenamiento, mientras que los gases pueden ser utilizados como combustible o procesados adicionalmente.

Normas de seguridad

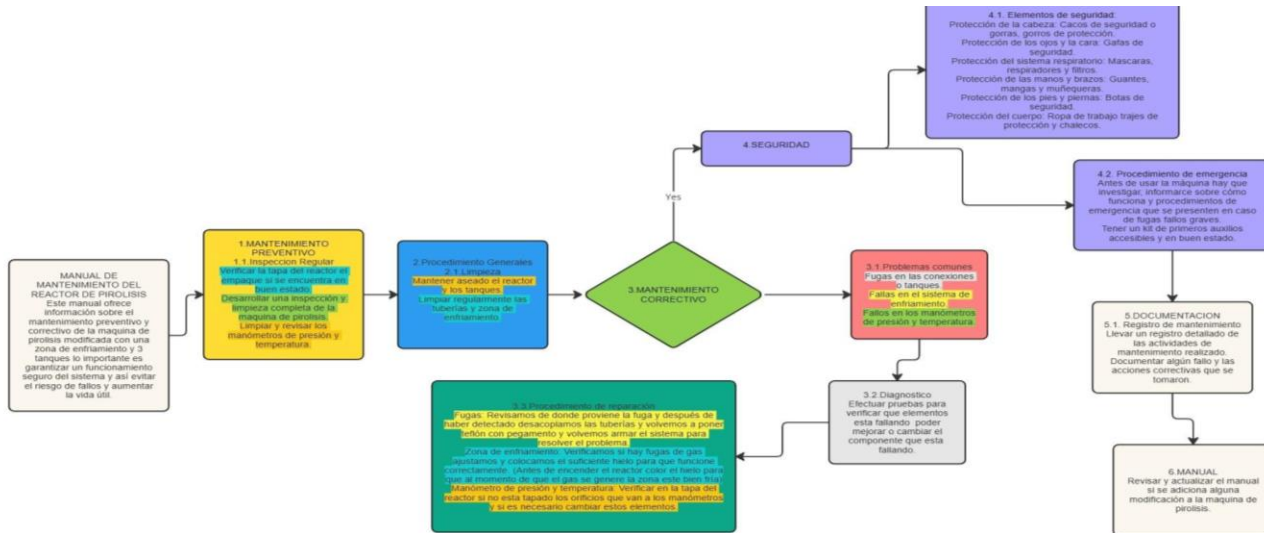
Equipos de Protección Personal (EPP): Utilización de guantes, gafas de seguridad, ropa resistente al fuego y mascarillas.

Monitoreo Continuo: Control regular de la temperatura, presión y niveles de gases inflamables.

Sistemas de Ventilación : Realice el procedimiento en un lugar abierto y despejado donde circule correctamente el aire, utilice mascarar de gases.

Inspecciones Regulares: Mantenimiento y revisión periódica de los equipos y sistemas de seguridad.





PROCESO PARA LA PIROLISIS



Preparación del material

Recolección y clasificación de las botellas para después ser triturado y utilizado.



Calentamiento en un ambiente controlado

El material se introduce en el horno y se calienta a temperaturas elevadas esto provoca que el plástico se descomponga.



Condensación

Los vapores que se generan se enfrían y condensan para formar líquidos y los gases que quedan son reutilizados por la máquina.



Tratamiento y aprovechamiento de los productos

Los resultados son sometidos a tratamiento de purificación y pruebas de funcionamiento.