



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión sistemática de tipos de reactores pirolíticos utilizados para
la degradación térmica de los residuos plásticos

**TESIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Carranza Vigo, Candy Mishel (orcid.org/0000-0003-4773-7088)

Marrerros Garcia, Jose de la Cruz Haron (orcid.org/0000-0002-9312-148X)

ASESOR:

Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto (orcid.org/0000-0002-0215-5175)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a nuestros padres, que nos apoyaron a seguir adelante en el desarrollo de la tesis, con palabras de aliento para lograr nuestro objetivo de culminar con éxito nuestros estudios.

Los autores

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios, que nos brindó salud y bienestar, así mismo nos guío en cada paso que damos. A nuestros padres porque por ellos es que nos esforzamos en seguir adelante. A nuestro asesor Dr. Medardo Alberto Quezada Álvarez que nos guío en cada paso de la tesis y nos brindó su ayuda y paciencia. Finalmente agradecer infinitamente a la Universidad César Vallejo y a la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, por formarnos profesionalmente.

Los autores

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índicen de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	11
3.3. Escenario de estudio.....	11
3.4. Participantes	11
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.6. Procedimientos	12
3.7. Rigor científico.....	14
3.8. Método de análisis de la información	14
3.9. Aspectos éticos	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de plásticos	9
Tabla 2 Tipos de reactores	16
Tabla 3 Productos de pirolisis de cada reactor	17
Tabla 4 Parámetros de cada tipo de reactor pirolítico.....	28
Tabla 5 Ventajas y desventajas de los reactores.....	30
Tabla 6 Tabla de Categorización	51
Tabla 7 Ficha de registro de datos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Procedimiento de información.....	13
FIGURA 2: Artículo de revisión por año.....	15
FIGURA 3: Diagrama del funcionamiento del reactor	18
FIGURA 4 Reactor lecho fluidizado	20
FIGURA 5 Reactor horno rotatorio	21
FIGURA 6 diagrama de flujo esquemático del sistema	22
FIGURA 7 Reactor semi discontinuo -proceso de pirolisis	24

RESUMEN

En la presente investigación se dio a conocer los diferentes tipos de reactores pirolíticos, los cuales degradan térmicamente los residuos plásticos, siendo necesarios para contrarrestar la problemática de la acumulación de dichos residuos, entre los tipos de plásticos que se usan en los reactores tenemos al poliestireno, polietileno, propileno y polipropileno. Así mismo se informó sobre su funcionamiento, sus ventajas y desventajas y los parámetros de funcionamiento. El objetivo general de la tesis fue analizar los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos, se aplicó el tipo de investigación básico con enfoque cualitativo adaptando un modelo sistemático. Como resultado se identificó 5 tipos de reactores pirolíticos siendo estos el reactor semi discontinuo, discontinuo, de lecho fluidizado, lecho fijo y horno rotatorio, el reactor discontinuo o batch tiene alta eficiencia de conversión de residuo plástico de polietileno a líquido y su gasto de energía es bajo puesto que por cada kg de residuo plástico consume 0.29KW/h de energía, así mismo se identificó que el reactor de lecho fluidizado consume 0.45 KW/h, además este reactor utiliza un catalizar por lo cual degrada más rápido el plástico con respecto al resto de los reactores.

Palabras clave: reactor pirolítico, degradación plástica, reactor térmico, pirólisis de plástico.

ABSTRACT

In the present investigation, the different types of pyrolytic reactors were disclosed, which thermally degrade plastic waste, being necessary to counteract the problem of the accumulation of said waste, among the types of plastics used in reactors we have polystyrene, polyethylene, propylene and polypropylene. Likewise, it was informed about its operation, its advantages and disadvantages and the operating parameters. The general objective of the thesis was to analyze the types of pyrolytic reactors for the thermal degradation of plastic waste, the basic type of research was applied with a qualitative approach, adapting a systematic model. As a result, 5 types of pyrolytic reactors were identified, these being the semi-batch, batch, fluidized bed, fixed bed and rotary oven reactor, the batch or batch reactor has high conversion efficiency from polyethylene plastic waste to liquid and its energy expenditure. It is low since for each kg of plastic waste it consumes 0.29KW/h of energy, likewise it was identified that the fluidized bed reactor consumes 0.45 KW/h, in addition this reactor uses a catalyst for which the plastic degrades faster with respect to to the rest of the reactors.

Keywords: pyrolytic reactor, plastic degradation, thermal reactor, plastic pyrolysis

I. INTRODUCCIÓN

El plástico juega un papel importante en nuestra vida diaria debido a su manera de uso, peso ligero y bajo costo de producción, por ello se volvieron esenciales en muchos sectores como la construcción, el embalaje, la agricultura entre otros, pero el uso extremo del plástico, el manejo y disposición inadecuados han resultado en impactos negativos sobre el medio ambiente y el ecosistema. (Maqsood, 2021, p.1). Cada año, el mundo genera 381 millones de toneladas de residuos plásticos, si se sigue con la tendencia se espera que se duplique para el año 2034. Los plásticos como el Polipropileno (PP), polietileno (PE), poliuretano (PU), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), el tereftalato de polietileno (PET) y la resina fenólica son los más plásticos de uso común, siendo PP y PE polímeros ampliamente utilizados en artículos de plástico de uso diario, en particular productos desechables como el plástico, envases, usos médicos estériles, construcción y plástico compostable botellas. (Harussani, 2022, p.3.)

Mientras que en el Perú según el Ministerio del Ambiente (2018, p.1) menciona que, si se prolongan las tendencias actuales de generación de residuos plásticos para el año 2050, en promedio 12 000 toneladas métricas de estos residuos terminarán en el medio ambiente natural o vertederos. Siendo así una amenaza latente para el medio ambiente ya que daña los ecosistemas, restringe la biodiversidad y amenaza la vida de la mayoría de las aves, peces y otros animales. (Barboza et al., 2019, p.8).

Debido a la problemática de la acumulación de los residuos plásticos es necesario usar tecnología que contribuya a la reducción de dichos residuos y a la vez sea amigable con el medio ambiente. Entre estas tecnologías está el reactor pirolíticos que degrada térmicamente al residuo plástico. (Miandad et al. 2017, p.3).

El reactor pirolítico determina la conversión exitosa de materia orgánica en energía (combustibles gaseosos, líquidos, sólidos), Los reactores se diseñan considerando las especificaciones de temperatura de calentamiento, presión

requerida, tiempo de residencia y otros parámetros. Las configuraciones comunes del reactor utilizados para la pirólisis incluyen lotes y semi-lotes, fijos y reactores de lecho fluidizado (Rumaihi, 2022, p.4.)

(Cai et al., 2021, p.11). menciona que estos combustibles generados en el proceso de la pirolisis pueden reemplazar los actuales combustibles fósiles que son dañinos para el medio ambiente.

(Harussani et al., 2022, p.7) menciona que el parámetro principal de funcionamiento del reactor viene a ser la temperatura y el tiempo de residencia, así mismo (Al et al., 2022, p.9) expresa que otro de los parámetros principales del reactor, viene a ser la velocidad de calentamiento y la presión.

El tipo de reactor manejado en pirólisis es tan significativo como el rendimiento de combustible, la selección del tipo de reactor se basa principalmente en consideraciones técnicas, principalmente sus características de manejo de alimentación, residuos y transferencia de calor. La selección de un reactor es un enfoque clave hacia la mecánica de pirólisis y es fundamental para la entrega del producto (Yansaneh y Zein, 2022, p.9).

En cuanto a los plásticos que se usan para la pirolisis se tiene que El PCV (cloruro de polivinilo) no se debe usar en el proceso por que como resultado generan gases altamente tóxicos como los organoclorados (Cantor y Peña, 2021, p.7).

Con respecto a la problemática descrita se formuló el presente problema de investigación ¿Cuáles son los tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos?, así mismo el análisis de la investigación también se enfocará en desarrollar los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos?, ¿cuáles son los principales parámetros de cada reactor? y ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los diferentes reactores pirolíticos?

Dicha investigación se justifica porque en la actualidad la inadecuada disposición final de los residuos plásticos genera impactos negativos para el medio ambiente y para la salud de las personas siendo esta un problema a nivel mundial, por lo cual, a través de la investigación sistemática se hará un análisis de los diferentes tipos de reactores pirolíticos que se usan para degradar térmicamente los residuos plásticos, contribuyendo así a la solución del problema y de servir como antecedente para futuras investigaciones sobre el uso de reactores para la degradación térmica de residuos plásticos.

Por ello para la presente investigación se tiene como objetivo general analizar los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos y como objetivos específicos: determinar los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos, identificar los principales parámetros de cada tipo de reactor pirolítico y describir las ventajas y desventajas de los diferentes reactores pirolíticos

II. MARCO TEÓRICO

Para dar fundamento a la presente investigación se tienen trabajos anteriores con respecto a la degradación de plástico mediante reactores de pirólisis , tenemos a Cajas y Campaña (2019,p.55) en su tesis utilizaron materia prima PET y polipropileno y se cortaron en retazos, siendo introducidos 100 g de PET y 900 g de PP, en un reactor batch hermético de 7 litros, colocados de 330°C hasta llegar a 400°C.Obteniendo un combustible el cual fue evaluado obteniendo en gravedad específica un parecido al diésel 1 en 0,843; para viscosidad se encuentra entre diésel 1 y diésel 2 con un valor de 2,965 cst, corrosión a la lámina de cobre está en diésel 2 ya que obtuvo un valor de 3,para índice de cetano se calculó 50,86 estando en diésel 2. Finalmente se obtuvo 801,80 ml, con un rendimiento de 94,33%, en un tiempo de 60 minutos.

Así mismo está Quesada (2021, p.173) en su tesis usó el polietileno colocado en un reactor discontinuo con temperaturas de 450°C - 550°C en tiempo de 40-120 min, en una atmósfera de nitrógeno; obteniendo una fracción líquida llamada oíl. Luego para identificar sus componentes usó una cromatografía de gases modelo 7890 A de Agilent (USA). En características físicas se tuvo un pH ácido de 5,9; una viscosidad elevada, en densidad 0,809 g/cm³, gravedad API 42,85; caracterizándose como un petróleo ligero. En cuanto a la cromatografía el aceite estaba compuesto de 1 - alquenos y n - alcanos en rango hidrocarburos C7A C28.

También Arce y Suarez (2017, p. 49) en su tesis colocaron 100 gr de residuos de polietileno de baja densidad que fueron lavados y cortados, siendo introducidos en un reactor tipo batch de acero de 1L; a temperatura de 400°C durante 60 min; obteniendo un biocombustible. Obteniendo en densidad 0,88 g/cm³ resultando diésel 2; en viscosidad 2,009 cst siendo diésel 1, entre otros. Concluyendo que al comparar los valores con combustibles comerciales resulta un diésel tipo 2, usado para motores.

De la misma forma Ullah et al (2022, p.4), en su artículo realizó pirólisis de desechos médico los cuales eran tubos de infusión (PVC), contenedor de muestra de orina (PS), guantes médicos (LDPE), jeringa (PP); usando un reactor de lecho fijo. El reactor se cargó con 7,0 g de materia prima y se colocó dentro de un tubo de cuarzo rodeado de lana de cuarzo. Se utilizó un horno eléctrico para calentar a la temperatura deseada (450 °C, 500 °C, 550 °C y 600°C, respectivamente), se mantuvo a esa temperatura durante 30 min. Seguido a ello se usó el analizador CHNS (Vario EL III, Alemania) se utilizó para realizar el análisis final de materias primas, aceite de pirólisis y carbonilla. Obteniendo un alquitrán viscoso negro, la composición química del aceite de pirólisis era diversa. Había muchos tipos de sustancias, incluyendo hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y cíclicos, series de benceno, ácidos y sus derivados, alcoholes, etanol, etc.

De igual manera Singh et al. (2020, p.4), en su artículo usó los plásticos mixtos (PE, HDPR, LDPE, PP, PS, PET), se colocaron en una unidad de pirólisis semi continua calentada eléctricamente con una capacidad de manipulación de 1 litro. La temperatura del proceso se mantuvo a 450 °C en condiciones isotérmicas durante 30 min con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min desde temperatura ambiente. Obteniendo así aceite pirolítico plástico PPO con una densidad menor de 0,734 g/cm³ en comparación se encuentra en el rango de la gasolina. Las propiedades como densidad, viscosidad, aromáticos del PPO obtenido son más similares a la fracción gasolina y muestran una mayor similitud.

Por otro lado, Kaminsky (2021, p.8), en su artículo usó el reactor de lecho fluidizado con materiales de polietileno (PE) y el polipropileno (PP) produciendo principalmente productos a temperaturas de 400–550°C gas y petróleo a temperaturas de 700 °C, concluyendo que la pirólisis de diferentes tipos de plástico es posible en un reactor de lecho fluidizado, y con esto se puede evitar la contaminación ambiental.

Seguido a ello para puntualizar el marco se tiene que para la realización de la pirólisis se necesita de un reactor, por ello han diseñado numerosos tipos de reactores de pirólisis para convertir una diversa variedad de residuos plásticos en tres categorías de productos: líquido, sólido y gas; los rendimientos de productos específicos dependen del diseño del reactor y parámetros de operación. (Harussani et al.2022, p.8).

Uno de los reactores que se usan para la pirólisis es el reactor discontinuo, se caracteriza por poseer un depósito de acumulación protegido con una periferia calefactora y a veces trae en él un agitador mecánico (Balseca et al., 2021,p. 400); es básicamente una estructura cerrada don no hay flujo de entrada o salida de productos cuando se da la pirólisis, se puede lograr una alta conversión en un reactor por lotes (Anuar et al., 2016,p. 6), el tipo de plástico utilizado para este reactor es el polipropileno y poliestireno a una temperatura de 400°C y tiempo deresidencia de 60 minutos de esa manera se obtendría mayor cantidad de líquido de combustible en un 88,86 % y baja cantidad de residuos sólidos y gases) (Martynis et al., 2019, p.5).

Así mismo está los reactores semi continuos son aplicables en pirólisis plástica ya que permite la adición de reactivos, así como la eliminación de subproductos durante el proceso (Harussani et al., 2022, p.9). Los polímeros usados para ser sometidos a este reactor son el polietileno de baja y de alta densidad, así como el polipropileno que a temperaturas entre 350°C a 500°C el rendimiento de líquido de combustible es mayor (Das y Tiwari,2018, p. 4).

Por otro lado está el reactor de lecho fluidizado, es uno de los reactores que más se han utilizado en la industria debido a su facilidad de transferencia decalor a toda la superficie del plástico en todo el reactor, aumentando el rendimiento del producto (Palmay et al., 2022,p.2), en el reactor de lecho fluidizado trabaja con un flujo creciente que hace que las partículas del lecho sediseminen mejorando la transferencia de masa y de calor en su volumen de reacción(Obando,2015,p.37).Para este tipo de reactor los

polímeros usados son poliolefinas, polipropileno y polietileno en rangos de temperatura de 650°C a 750°C produciendo líquidos similares al combustible en su mayor parte (Park,Jeong y Kim,2019,p. 6).

También están los reactores de lecho fijo que utilizan un catalizador generalmente en forma estática y empaquetada, es fácil de diseñar, pero existen algunas limitaciones, como el tamaño y las forma irregulares de las partículas de los plásticos como materia prima, que podrían causar problemas durante el proceso de alimentación (Harussani et al., 2022,p.9); este reactor es ideal para degradar rápidamente el polipropileno, polietileno de alta densidad y tereftalato de polietileno junto al catalizador de alúmina a base de cobalto y cera; a temperaturas entre 320°C y 380°C (Chattopadhyay et al., 2016,p. 7).

Otro de los reactores usados es el tipo horno rotatorio tienen un 2% de inclinación en dirección a la cámara de combustión secundaria, lugar donde se incineran los residuos plásticos (Harussani et al., 2022,p.10), el reactor de horno rotatorio sirve para realizar la pirólisis de residuos plásticos y recuperar aceites líquidos que podrían utilizarse como fuente de productos químicos o combustibles valiosos; uno de los polímeros usados es el polietileno para generar olefinas y parafinas (Yutao et al.,2020,p.1).

Para que estos diferentes tipos de reactores tengan un buen funcionamiento para la obtención de productos se deben tomar en cuenta parámetros de temperatura óptima que controla la ruptura de la cadena polimérica del plástico. Durante el aumento de la temperatura, las moléculas de los materiales comienzan a vibrar y tienden a evaporarse de la superficie de los materiales. Así también entra a tallar el tiempo de residencia se refiere al tiempo que la muestra estará en la cámara de pirólisis, lo que afectará los rendimientos de los productos finales. El tiempo de residencia prolongado aumenta la degradación del producto primario contribuyendo a la formación de productos más estables térmicamente como los hidrocarburos de peso molecular ligero y el gas no condensable (Harussani et al.2022, p.9). También está la presión que es la

fuerza que se ejerce por la unidad de superficie, teniendo así $\text{Newton/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$. (Granados, 2018, p.3). Así también los reactores reportan diferentes capacidades y dimensiones, hay algunos que son pequeños como los micro reactores y más grandes como el reactor de lecho fijo (Corella, 2020, p.23).

El reactor pirolítico es una estructura diseñada para trabajar en altas temperaturas, donde se controla la temperatura, presión y otros parámetros. Dicho reactor es una tecnología que se usa para transformar una diversa variedad de materias primas en tres categorías, líquido, sólido y gas, el rendimiento de dichos productos está determinado por el tipo de reactor y de los parámetros de operación. El procedimiento para degradar la materia prima y convertirlos en combustible y otros productos se basa en el método de pirólisis y la condensación de los hidrocarburos que resulta de la degradación de la materia usada con la aplicación de temperaturas altas. El proceso inicia con la obtención de la materia prima que está en estado sólido, este se le debe cortar en porciones pequeñas para posteriormente introducirlo al reactor, dicho reactor tiene que ser cerrado herméticamente donde se procederá a aumentar la temperatura hasta descomponerse y volatilizarse, de esta manera se obtiene los gases que están conformados por hidrocarburos, estos gases se transportan por un tubo para posteriormente seguir otros procesos como la condensación para poder obtener el líquido combustible y la purificación, así mismo por otro conducto se transporta aquellos gases que no han sido condensados. Harussani et al., 2022, p.8; Kumar et al., 2021, p.3; Bellón, Tovar y Muñoz, 2017, p.5.

Los plásticos son materiales hechos a base de polímeros, estos están formados por reacciones de polimerización donde unen moléculas pequeñas. (Torres, 2019, p.6). Existen varios tipos de plásticos los cuales son:

Tabla 1 Tipos de plásticos

TIPO DE PLÁSTICO	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICA	REFERENCIAS
Poliestireno (PS)	C ₈ H ₈ , Polímero de hidrocarburo aromático sintético hecho por monómeros de estireno. La espuma de poliestireno es blanda y comprimible, contiene entre un 95 % y un 98 % de aire y se usa mucho para fabricar materiales livianos, embalaje protector	Resiste altas temperaturas, ligero, alta resistencia.	-Jahirul et al. (2022, p.4) -Miandad et al. (2017, p.6)
Polietileno (PE)	C ₂ H ₄ HDPE: Consiste en largas cadenas poliméricas con bajas cantidades de ramificación y un alto grado de cristalinidad LDPE: Tiene una mayor ramificación que el HDPE, lo que reduce las fuerzas intermoleculares.	HDPE: Alta resistencia LDPE: Poca resistencia, menos dureza, resistente al agua	-Jahirul et al. (2022, p.4) -Miandad et al. (2017, p.6)
Propileno (PP)	C ₃ H ₆ , Polímero saturado termoplástico con hidrocarburo lineal cadenas y se utiliza en diversas aplicaciones. Presenta buena resistencia a calor y ataque químico	Resiste alta temperaturas y químicos, baja densidad, duro	-Crawfor y Quinn (2020, p.14) -Jahirul et al. (2022, p.5)

Policloruro de vinilo (PVC)	<p>Polímero termoplástico ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones debido a su bajo costo y alta durabilidad</p>	Resistente al fuego y plástico versátil	<p>-Najafi y Abdollahi (2020, p.1) -Miandad et al. (2017, p.7)</p>
Tereftalato de polietileno (PET)	<p>Compuesto de $C_{10}H_8O_4$ polimerizado Monómeros. Está compuesto por 64% petróleo crudo, 23% gas y 13% aire, Sus principales componentes son el paraxileno, el ácido tereftálico y el etilenglicol.</p>	<p>Se identifica en todo el mundo con el código de reciclaje '1'. Resistente al desgaste y al calor. Ligero, resistente a impactos y roturas.</p>	<p>-Crawfor y Quinn (2020.p.11) --Jahirul et al. (2022, p.5)</p>
Poliamida (nylon)	<p>$C_6H_{11}NO$, más utilizados en todo el mundo y generalmente son encontrados en muestras recuperadas del medio ambiente acuático</p>	Alta resistencia a la tracción y excelente abrasión	-Crawford yQuinn (2020,p.20)

Fuente: Elaboración propia.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Se aplicó al presente proyecto el tipo de investigación básico con enfoque cualitativo adaptando un modelo sistemático, así mismo el diseño que se uso es el de la teoría fundamentada puesto que se recopilará información de revistas indexadas así como de repositorios institucionales los cuales poseen un rigor científico, también se usó el diseño narrativo de tópicos puesto que se recopilará información de diferentes autores de un tema en específico en este caso de los tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

En los anexos se presenta la matriz de categorización apriorística que contiene el problema de la investigación, las preguntas de la investigación, objetivo general, objetivos específicos, las categorías y por ultimo las subcategorías, dicha matriz es relevante puesto que se elabora del tema dela investigación y antes de recopilar los datos. (ver anexo 1).

3.3. Escenario de estudio

El escenario que se usó para el presente proyecto fueron las bases de datos de revistas indexadas, así como repositorios institucionales, donde se obtuvo información elemental sobre nuestro tema de investigación.

3.4. Participantes

Para la presente investigación se consideró como participantes a los artículos indexados y tesis que contribuyan al desarrollo de los objetivos propuestos en la presente investigación, cabe mencionar que dichos documentos están presentes en la base de datos de SCOPUS, EBSCO, SCIEDIRECT, PROQUEST, SCIELO y, de igual manera con las tesis extraídas de repositorios institucionales.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos que se usó en la presente investigación es la de análisis documental de artículos científicos extraídos de fuentes indexadas, dicha técnica nos permitió seleccionar las ideas informativamente relevantes para esta investigación.

Como instrumento se usó la ficha de registro de datos donde se registrará el nombre de la investigación, idioma, la plataforma de búsqueda y el link de acceso (ver anexo 2).

3.6. Procedimientos

Para el procedimiento de búsqueda de la información se realizó primero una revisión sistemática en las plataformas indexadas de Scopus, Scimedirect, Proquest , Scielo y Ebsco utilizando las palabras claves como “pyrolytic reactor”, “plastic degradation”, “thermal reactor”, “pirolisis de plástico”.

Como segunda fase se realizó la selección de la información que es útil para el desarrollo de dicha investigación la cual fue recopilada en la primera fase, con el fin de seleccionar la información relevante se aplicó filtros como año de publicación, teorías relacionadas a la investigación e idioma, llevando siempre criterios de exclusión e inclusión tal como se puede observar en la figura número 1.

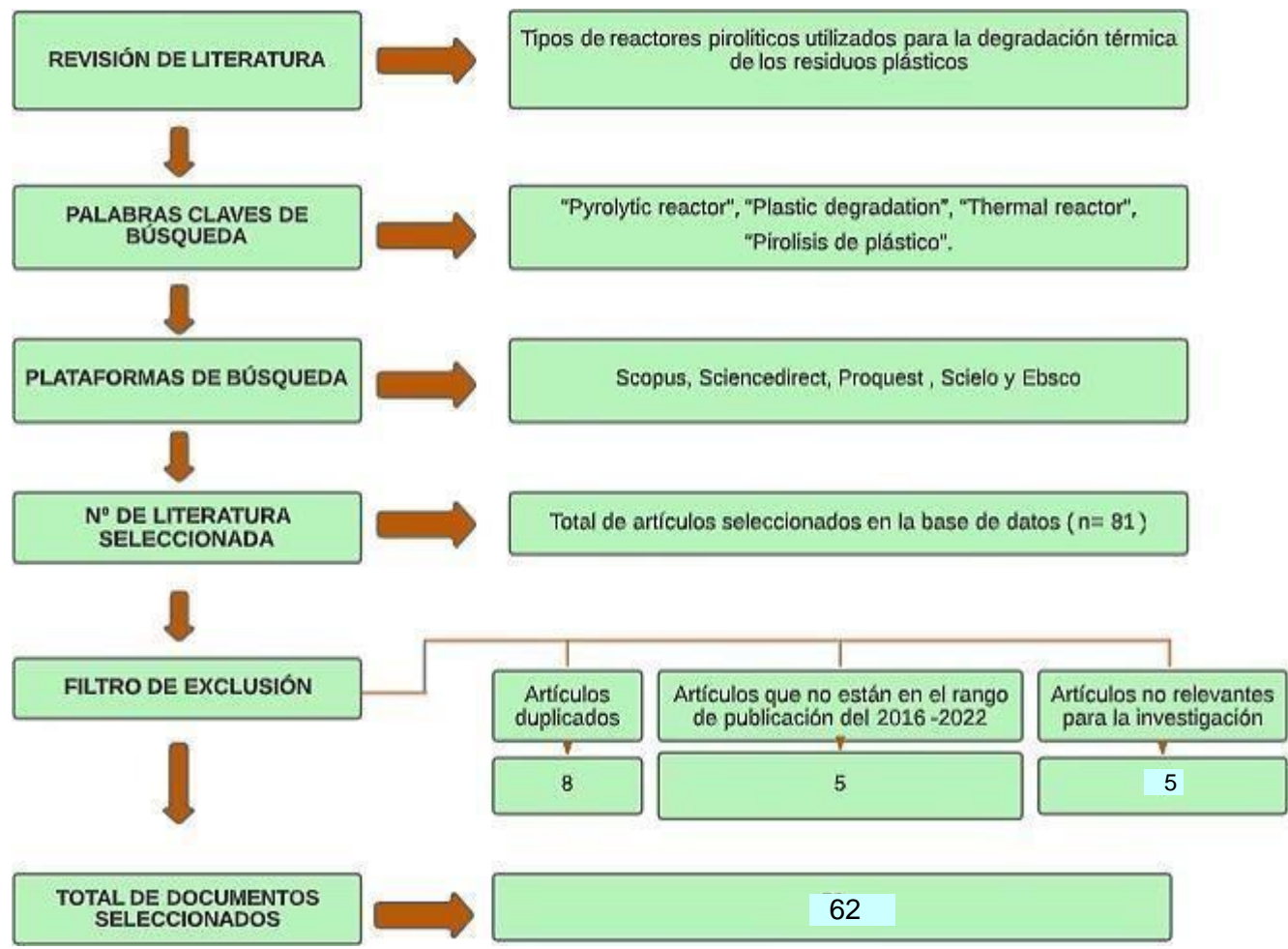


Figura 1 Procedimiento de información

Fuente:Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Los documentos que se obtuvieron tienen validez y confiabilidad puesto que se obtendrán de fuentes científicas como artículos indexados y repositorios institucionales de esta manera la presente investigación valida la legitimidad de los datos obtenidos y su alcance, con el fin de poder brindar información relevante para futuras investigaciones.

3.8. Método de análisis de la información

En la presente investigación se usó como método de análisis de datos el análisis bibliométrico la cual nos permitió procesar y examinar la información mediante métodos matemáticos para analizar la información que se recolectó en términos de calidad y cantidad, las cuales serán mostradas en tablas y gráficos.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó de acuerdo a lo establecido por la guía de investigación N° 110-2022-VI-UCV. Por ello el proyecto de investigación “Revisión sistemática de tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos”. Utilizó información de anteriores investigaciones respetando la autenticidad intelectual de los autores, de igual forma dicha investigación se sometió al software Turnitin para comprobar su originalidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizada la búsqueda de información en las diferentes bases de datos como Science Direct, Scopus, Ebsco, Scielo y de repositorios de universidades se logró obtener 59 documentos entre artículos indexados y tesis. Como se puede ver en la figura 2 el interés por la degradación de los plásticos a base de reactores pirolíticos ha ido incrementando demostrando ser un tema de gran interés a nivel global.

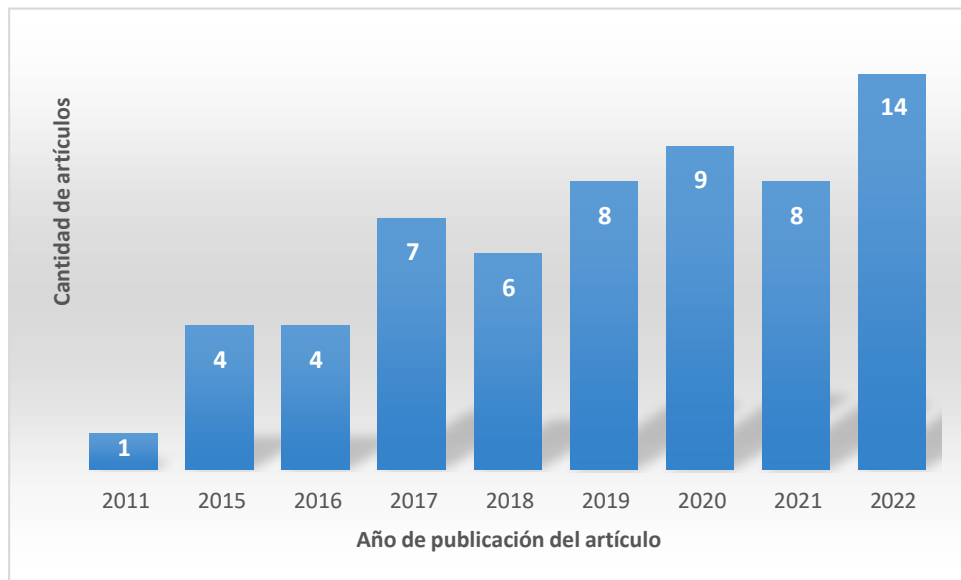


FIGURA 2: Artículo de revisión por año

FUENTE: Elaboración Propia

Se analizaron los artículos encontrados y seleccionados con el propósito de realizar el análisis de los parámetros que conforman el reactor pirolítico, también los diferentes tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación de residuos plásticos. Ver tabla siguiente

Tabla 2 Tipos de reactores

AUTORES	TIPO DE REACTOR	TIPO DE PLÁSTICO	PRODUCTO DE PIRÓLISIS
(Kassargy et al., 2017, p.2), (Azubuike et al., 2018, p.4), (Mesa y Ortíz,2017, p.54), (Palmay, Medina y Vargas,2021, p.2469)	Reactor discontinuo o batch de acero	Polipropileno y polietileno	Líquido combustible, gas , residuo (carbón)
(Kaminsky, 2021, p.2), (Xue et al.,2015. p.45), (Harussani et al.,2022, p.9)	Reactor de lecho fluidizado con arena de cuarzo	Poliestireno y polietileno	Líquido combustible, gas , residuo (carbón)
(Ren et al.,2022, p.5), (Yutao et al.,2020, p.2), (Meng et al.,2022, p.3)	Reactor de horno rotatorio con arena como portador de calor	Polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y poliestireno	Líquido combustible, gas , residuo (carbón)
(Al et al., 2019, p.6); (Lewandowski, et al.,2019, p.27); (Al et al., 2022. p.6); (Cai et al.,2021, p.6); (Harussani et al., 2022, p.9); (Sogancioglu, 2019,p.4).	Reactor de lecho fijo	Polipropileno, Polietileno de alta densidad	Líquido combustible, gas , residuo (carbón)
(Mendoza 2016, p.34); Ruming et al., 2021, p.7),(Riesco et al., 2022, p.4).	Reactor semi discontinuo	Polipropileno	Líquido combustible, gas , residuo (carbón)

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 3 productos de pirólisis de cada reactor

AUTOR	REACTOR	CANTIDAD DE PLÁSTICO	DE	PARÁMETRO	CANTIDAD DE PRODUCTO	ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS
Martynis et al., 2019, p.1		1 kg de polipropileno	de	Temperatura a 400°C con 60 min	-Combustible = 88.86% -Residuo (carbón) = 1.84% -Gas= 9.3%	COMBUSTIBLE: Poder calorífico cercano al querosene y densidad parecida a la gasolina.
Miandad et al., 2016, p.1	Discontinuo o batch	1 kg de poliestireno	de	Temperatura a 450°C con 75 min	-Combustible = 80.6% -Residuo (carbón)=6.2 % -Gas = 13%	COMBUSTIBLE: Viscosidad cinemática de 1.92 cSt, una densidad de 0.92 g/cm ³ , un punto de fluidez de 60°C, un punto de congelación de 64°C, un punto de inflamación de 30,2°C y un alto valor calorífico (HHV) de 41,6 MJ/kg, similar al diésel. Y está compuesto principalmente estireno (48%), tolueno (26%) y compuestos de etilbenceno (21%).
Wong et al., 2022, p.1	LECHO FLUIDIZADO	1 g de polietileno de baja densidad, 1 g de polietileno de alta densidad y 1 g de polipropileno		0,20 de catalizador HZSM-5, temperatura a 650°C con 10 min	-Combustible= 35.9% -Residuo (carbón)=25.5 % -Gas= 75.2%	COMBUSTIBLE: Alto de compuestos aromáticos (93,0 %) a expensas de alquenos (5,5 %) y alcanos (1,49 %)
Xue et al., 2015, p.1		5 g Polietileno de alta densidad		625°C de temperatura con 10 min y catalizador de arena de silice	-Combustible= 57.6% -Gas =1.8% -Residuo (carbón)	COMBUSTIBLE: Poder calorífico (HHV) hasta 36,6 MJ/kg en hidrocarburos alifáticos hidrocarburos con C20+
Meng et al., 2022,p.3	HORNO ROTATORIO	15 g de polietileno		Temperatura 500°C con 50 min y 20%	-Combustible = 39.5% -Gas= 57.9%	COMBUSTIBLE: Mayor cantidad de hidrocarburos del rango de las gasolinas

			catalizador arena de cuarzo		-Residuo (carbón)	
DAS y TIWARI, 2018, p.1	SEMICONTIN UO	10 mg de polietileno de alta densidad,baja densidad y polipropileno	Temperatura 400°C CON 180 min		-Combustible = 83%	COMBUSTIBLE: Hidrocarburos ligeros pertenecientes a destilados ligeros y medios del petróleo (C 6 - C 20)
Al, 2019, p.1	LECHO FIJO	100g de HPDE	550°C temperatura 120 min	de y	-Combustible = 70% -Gas=36% -Residuo (carbón)	El producto de petróleo recuperado tenía una alta proporción de HC alifáticos, especialmente en el rango de C8 a C 12, mientras que los HC aromáticos fueron de menor proporción. Se observó que el número de carbonos del aceite de pirólisis aumentaba proporcionalmente con el aumento de la temperatura de funcionamiento. El producto gaseoso tenía un alto porcentaje (> 70%) de C 2 a C 4 HC, lo que se atribuyó a la alta actividad de la reacción de escisión en cadena carbono/carbono (CC).

FUENTE: PROPIA

A continuación, se describe cada una de los tipos de reactores pirolíticos a escala de laboratorio:

REACTOR DISCONTINUO

Este tipo de reactor se da por lotes, consta de un sistema cerrado donde no hay flujo de entrada o salida para la materia prima mientras se da el proceso de pirólisis (Anuar et al., 2016, p.6). Estos reactores tienen características destacadas por que la muestra, depositada en un principio al reactor, se somete a una estructura donde se calienta hasta alcanzar la temperatura deseada. Este reactor se ha usado en varios trabajos para la degradación de múltiples tipos de materiales, tanto el polietileno y mezclas de muchos polímeros (Rodríguez,2015, p.84). Los reactores discontinuos se utilizan ampliamente con una fuente eléctrica externa como medio de calentamiento para la pirólisis de plásticos (Kartik et al.,2022, p.14).(Fig.3).

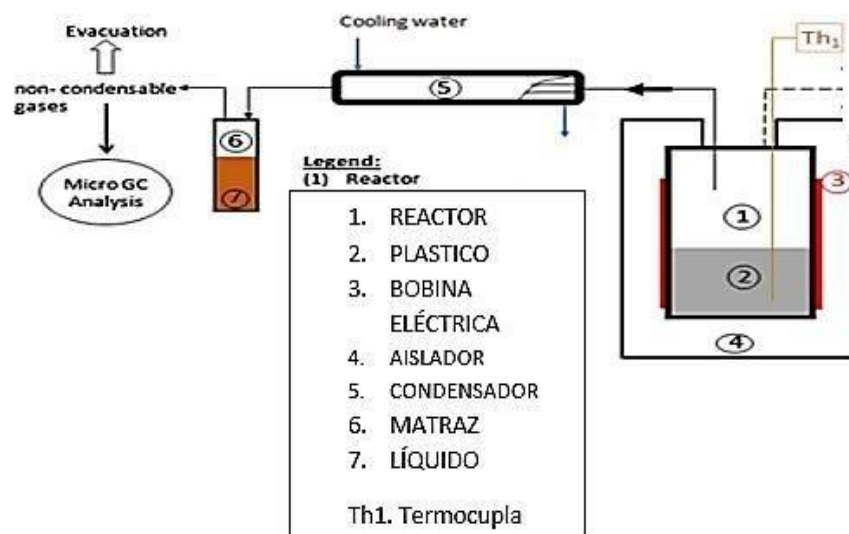


FIGURA 3: Diagrama del funcionamiento del reactor
FUENTE: Kassargy et al.,2017, p.3

Según los autores Kassargy et al.,2017, p.2, Azubuiké et al.,2018, p.4, Mesa y Ortíz,2017, p.54, Palmay, Medina y Vargas,2021, p.2469, usaron el tipo de reactor discontinuo o batch que fueron hechos de acero

inoxidable. además, usaron materiales de polipropileno y polietileno los cuales fueron degradados en los reactores entre temperaturas de 370° C a 550°C, obteniendo diferentes productos como aceitepirolítico en alto rendimiento, gases y sólidos.

REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

Este tipo de reactor(Fig.4) tiene un funcionamiento continuo ya que la materia prima puede entrar y salir, estos equipos constan en tener un lecho (como arena de cuarzo o un catalizador) que tiene movimiento cuando la cantidad de partículas es igual o menor a la fuerza de arrastre dada por la velocidad del flujo del gas portador, favoreciendo al factor de la velocidad de fluidización, ya que va determinar la distribución de tiempos de residencia de los productos obtenidos en el reactor (Obando,2015,p.21). En un reactor de lecho fluidizado, la materia prima generalmente se muele hasta obtener un tamaño de partícula fina, después se configura colocando los materiales empaquetados, como arena, en una placa porosa, conocida como distribuidor dentro del reactor. Cuando el gas de fluidización (di nitrógeno o helio) pasaa través de la placa a una determinada velocidad de flujo, el material empaquetado se suspenderá dentro del reactor para lograr un comportamiento similar al de un fluido, un proceso conocido como fluidización, el material del lecho es responsable de almacenar y transferir calor a la materia prima (portador de calor), mientras que el gas fluidizante asegura la mezcla del material de empaque con la materia prima para promover la transferencia de calor (Ren et al.,2022.p.3).Cuando la materia prima entra al reactor , se pone en contacto con los materiales del lecho mezclándose completamente a altas temperaturas y se empieza a dar la reacción de pirólisis (Cai et al.,2021,p.6).

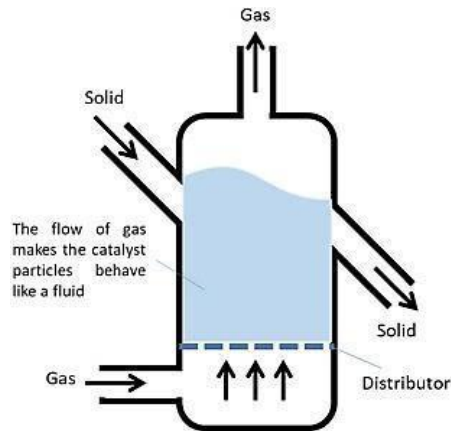


FIGURA 4 Reactor lecho fluidizado

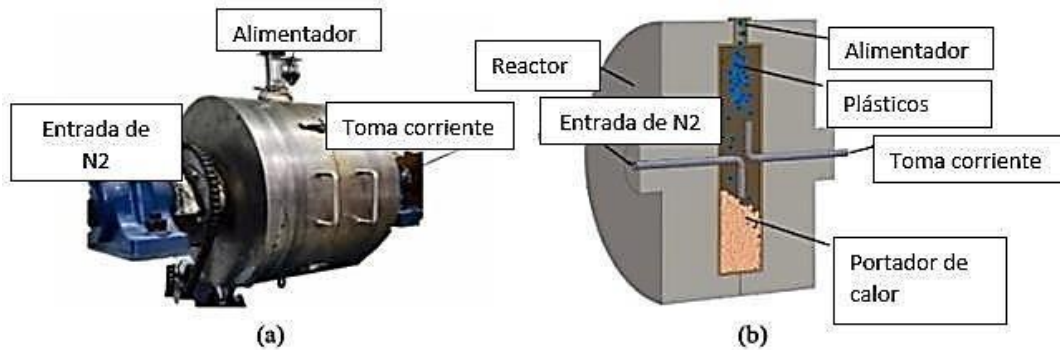
FUENTE: Harussani et al.,2022, p.10

Por otro lado, Kaminsky, 2021, p.2-6, Xue et al.,2015. p.45, Harussani et al.,2022, p.9, usaron reactores de lecho fluidizado teniendo arena de cuarzo como portador de calor, y usando polímeros como poliestireno y polietileno a altas temperaturas que oscilan entre 650°C Y 750°C.

REACTOR HORNO ROTATORIO

El funcionamiento de cuando entra la materia prima al reactor es la siguiente, cuando las partículas de plástico caen al fondo del horno rotatorio o al lecho portador de calor (arena de cuarzo) en forma de caída libre en este período, la velocidad es muy alta bajo la acción de la aceleración de la gravedad. Posteriormente, las partículas de plástico continúan moviéndose con el movimiento de los portadores de calor en el horno rotatorio. Cuando se carga el portador de calor de arena de cuarzo, las partículas de plástico interactúan con el lecho del portador de calor y la velocidad de las partículas de plástico tienden a ser estables después de varios ciclos. Cuando no hay portador de calor, el movimiento continuo de las partículas de plástico se debe principalmente a la fricción entre las partículas de plástico y la pared del horno rotatorio giratorio (Meng et al.,2022, p.7). Un reactor de horno rotatorio está diseñado para permitir una mezcla completa de materia prima. El calor se transfiere de forma conductiva desde la superficie de un tambor

giratorio a la materia prima dentro del reactor (Ren et al.,2022, p.5).(Fig. 5).



, a) Horno rotatorio a escala laboratorio b) Estructura del
horno rotatorio

FIGURA 5 Reactor horno rotatorio

Fuente: Meng et al.,2022, p.3

Los autores Ren et al., 2022, p.5, Yutao et al.,2020, p.2-8, Meng et al.,2022, p.3-8. usaron reactores de horno rotatorio con arena como portador de calor con materia prima de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y poliestireno a temperaturas de 500°C donde estos plásticos fueron degradados por completo.

REACTOR DE LECHO FIJO

El reactor de lecho fijo tiene una forma cilíndrica con parte exterior de acero inoxidable en tanto el interior es cerámico, existiendo un espacio de 0.23 mm entre el aislamiento de la cerámica y la carcasa de acero inoxidable, el reactor tiene un radio exterior de 120 mm y el radio interior es de 60 mm, la carcasa exterior del reactor cuenta, con 3 elementos de calentamiento térmico controladas, dichas temperaturas se indica mediante termopares que se insertan dentro del reactor, La novedad del diseño es la configuración del sistema del reactor por lotes con dos

separadores gas/líquido, donde el primero es aplicable para ser utilizado para un cromatógrafo de gases. El segundo es para la separación y recolección de los productos gaseosos y líquidos. Existen dos líneas para el segundo separador, la primera es para la recolección de fracciones de gas donde los productos gaseosos son atrapados y recolectados utilizando una bolsa Tedlar de 5 L. Tanto las muestras de petróleo como las de gas se recolectaron después de la condensación con una duración de 3 horas de tiempo de pirólisis y se aplicaron condiciones de pirólisis lenta durante todo el experimento, manteniendo una velocidad de calentamiento de 5 °C /min. Las temperaturas iniciales del horno y del lecho se registraron y mantuvieron en condiciones de laboratorio ($\approx 21^{\circ}\text{C}$) con un horno y lecho del reactor alcanzando una temperatura media de 566 °C y 400 °C después de 120 minutos de tiempo experimental. La segunda línea es para la recolección de productos condensables (líquidos) que puede sostener 80 muestras de 3 ml de capacidad de volumen mínimo. En la parte inferior del reactor, también se introduce una tolva para la recolección de productos de cenizas/carbón. La (Fig. 6) muestra el diagrama de flujo esquemático del sistema. (Al, 2019, p.6).

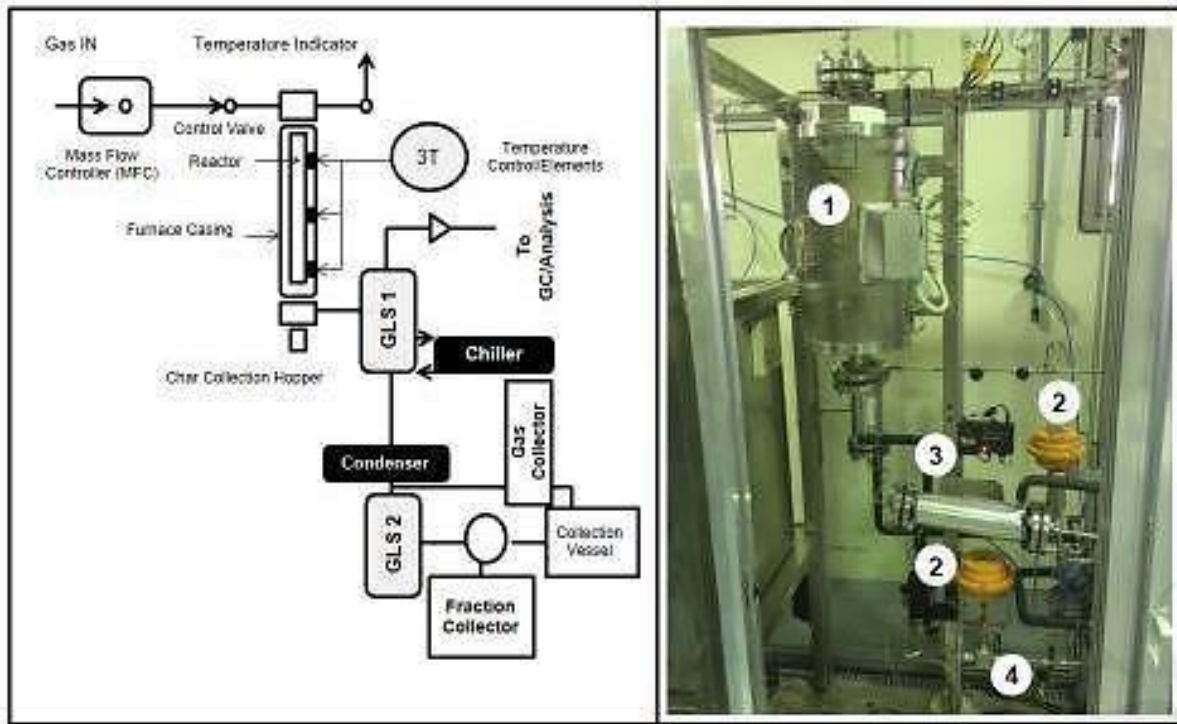


FIGURA 6 diagrama de flujo esquemático del sistema.

Fuente: (Al, 2019, p.27).

Lewandowski, et al.,2019, p.27; Al et al., 2022. P.6; Cai et al., 2021, p.6. Mencionan que la construcción es simple y de fácil manejo, además que tiene un alto rendimiento en la generación de carbón. Además (Harussani et al., 2022, p.9) concluye que a medida que aumenta la temperatura de operación, se mejoró la degradación térmica de los residuos, aumentando el producto líquido. (Sogancioglu, 2019, p.4). refuerza esta teoría en su experimento donde da a conocer que al aumentar la temperatura aumenta el porcentaje de producto líquidos y disminuye el porcentaje de producto char.

REACTOR SEMI CONTINUO

Dicho reactor consiste en un recipiente que está hecho de acero inoxidable, este tiene que estar aislado térmicamente, así mismo cuenta con dos resistores eléctricos para aumentar la temperatura dentro del reactor, así como termopares para el control de la temperatura, se ingresa la materia prima por la parte superior del reactor donde luego se cierra herméticamente, cuando se da inicio el proceso las resistencias se encargan de incrementar la temperatura dentro del reactor (Fig. 07). Cuando se comienza el proceso las resistencias se encargan de aumentar la temperatura dentro del reactor, incitando una disminución en la densidad del aire contenido, con lo cual es transportado hacia la parte superior, para posteriormente salir del reactor y mediante tubos llegar hacia el recipiente de condensación, con la finalidad de crear una atmósfera inerte, libre de oxígeno lo cual es necesaria para realizar el proceso de pirólisis. Una vez introducido los residuos dentro del reactor este comienza a derretirse y fundirse, y empieza a liberar una cantidad de gases, los cuales serán llevados por medios e tubos al sistema de condensación, Una vez que estos entran en contacto con el agua, genera un cambio de fase, pasando de estado gaseoso a estado líquido (Mendoza ,2016, p.34-35).

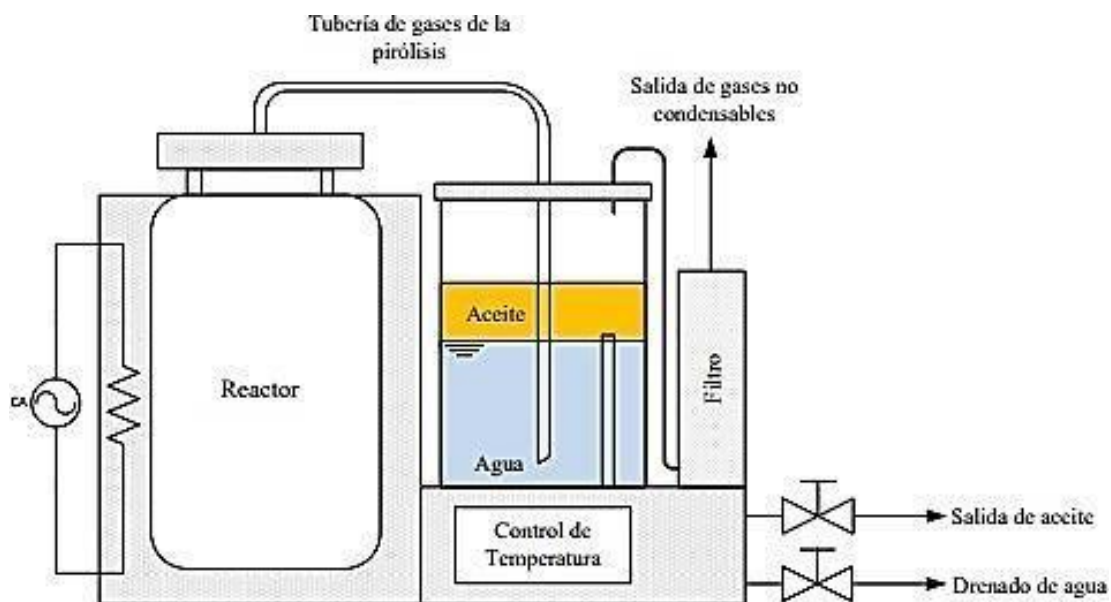


FIGURA 7 Reactor semi continuo -proceso de pirólisis

Fuente: (Riesco 2016, p.35)

(Ruming et al., 2021, p7) En su experimento menciona que la conducción óptima para la producción de combustible líquido es a 488 °C, 20 min y 20 mL/min, mientras que (Riesco et al., 2022, p.4,6,10) menciona que el rendimiento líquido máximo fue del 69% y se obtuvo a 410 °C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se realizó un análisis de los dos autores utilizando el indicador de Scimago, identificando que (Ruming et al., 2021, p7) cuenta con un índice H de 210 y con Q1 en el 2021, mientras que (Riesco et al., 2022, p.4,6,10) cuenta con un índice H de 109 y con Q2 en el 2020. De esta manera se da un valor agregado a Ruming mencionando que la producción óptima es a 488 grados.

Tabla 4 Parámetros de cada tipo de reactor pirolítico

AUTOR	REACTOR	PARÁMETROS
(Anuar et al., 2016,p.313,324,(Kassargy et al.,2017, p.2), (Azubuike et al.,2018, p.4-7), (Mesa y Ortíz,2017, p.54)	Reactor discontinuo	Rango de temperatura de 300° a 800° C, presión de 1 atm, velocidad de calentamiento en 6 °C/min, y tiempo de residencia hasta 150 min
(Anuar et al., 2016,p.313,324), (Riesco et al., 2022, p.10)	Reactor semicontinuo	Rango de temperatura de 300° a 800° C, presión de 1 atm, velocidad de calentamiento en 7 a 10 °C/min y tiempo de residencia de 30 min
(Anuar et al., 2016,p.315) (Kaminsky, 2021, p.2), (Xue et al.,2015. p.45), (Harussani et al.,2022,p.9), (Park,Jeong y Kim,2019,p. 6).	Reactor de lecho fluidizado	Normalmente a temperaturas de 290° a 850°C, catalizador, presión de 1 atm, y tiempo de residencia de 20 a 25 min
(Anuar et al., 2016,p.324),(Ullah et al., 2022, p.3)	Reactor lecho fijo	Temperatura 500°C, velocidad de calentamiento en 10 °C/min, y tiempo de residencia 30 min
(Ren et al., 2022, p.5), (Yutao et al.,2020, p.2), (Meng et al.,2022, p.3)	Reactor de horno rotatorio	Temperatura 500°C, catalizador de arena de cuarzo, y tiempo de residencia 50 min.

Fuente: Elaboración propia

Entre los parámetros usados para el proceso de pirolisis en un reactor discontinuo se tiene que la temperatura debe ser entre 300° C a 800° C lo que concuerda con Kassargy et al.,2017, p.2, Azubuike et al.,2018, p.4, Mesa y Ortíz,2017, p.54, que utilizaron este tipo de reactor a temperaturas 370° C a 550°C, así mismo entabla con (Martynis et al., 2019, p.5) que su temperatura fue a 400°C , de igual manera concuerda con el antecedente de

(Quesada, 2021, 173) demostrando que a temperaturas de 450°C - 550°C y tiempo de 40-120 min se genera mayor producto líquido.

De igual manera el reactor semicontinuo utiliza condiciones de temperatura de 300° a 800° C lo cual concuerda con el antecedente se (Singh et al.,2020, p.3) que utiliza el reactor a 450°C con un tiempo de 30 min, y (Riesco et al., 2022, p.10) que utilizo el reactor a 401°C con una velocidad de calentamiento 10°C /min con un rendimiento líquido máximo.

Así mismo los parámetros del reactor de lecho fluidizado funciona con temperaturas que van de 290°C a 850°C esto concuerda con Kaminsky, 2021, p.2, Xue et al.,2015. p.45, Harussani et al.,2022, p.9 que usó este reactor a temperatura hasta 750°C indicando que a mayor temperatura mayor producción de aceite pirolítico, además de usar catalizadores.

También (Anuar et al., 2016, p.324), recomienda usar el reactor de lecho fijo a temperatura de 500°C esto concuerda con el antecedente de Ullah et al.,2022, p.3, que usó el reactor a 500°C con un tiempo de 30 min obteniendo aceite de pirolisis.

Finalmente, para Ren et al., 2022, p.5, Yutao et al.,2020, p.2, Meng et al.,2022, p.3, el parámetro para el reactor de horno giratorio es de 500°C de temperatura, con el uso de un catalizador para que el plástico se degrade rápido y tiempo de hasta 5 min.

Ventajas y desventajas

Tabla 5 Ventajas y desventajas de los reactores

AUTORES	REACTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
(Miandad et al.,2016,p.2), (Kassargy et al., 2017,p.1), (Al et al., 2017, p.18), (Rodríguez,2015,p.84), (Duque et al.,2021,p.1), (Balseca et al., 2021,p. 416)	Discontinuo o batch	-Son recomendables a escala laboratorio por su fácil operación, es seguro y tiene diseño simple. -Alta eficiencia de conversión de plástico a líquidos tanto el polietileno como mezclas de diversos polímeros - Por cada Kg de material plástico se produce 1 L de aceite pirolítico - Consume hasta 0,29 kWh por kilogramo de muestra de material plástico	-A gran escala son inconsistentes y no rentables ya que se requiere de carga frecuente de la materia prima haciendo que el costo de mano de obra del proceso aumente.
(Harussani et al.,2022, p.10), (Kartik al.,2022, (Ren et p.15), Et al.,2022,p.5), (Maafa.2021,p.8), (Rodríguez,2015, p.85), (Morales, 2018,p.2)	Lecho fluidizado	- Es ideal para la pirólisis plástica ya que el catalizador puede ser reutilizado varias veces sin necesidad de descarga. -Operan de a Velocidades de calentamiento más altas facilitando la pirólisis rápida y proporcionando relativamente	- Manejo de una gran cantidad de arena. -Plástico fundido en proceso de pirólisis. -Se utiliza 13,5 kWh/m ³ para 30 Kg

		mejor calor. -Preferible para estudios de laboratorio. - Es un despliegue interesante orientado al reciclaje de materiales, incorporada como una tecnología sostenible	
(Kartik et al.,2022, p.14),(Yutao et al.,2020,p.2), (Muhammad et al.,2020.p.4), (Lewandowski, et al.,2019, p.27).	Horno rotatorio	-Usa materiales con amplia gama de capacidad calorífica -Opción atractiva debido a su menor costo de capital -Diseño simple	-Si se diseña mal la transferencia de calor no es buena
(Al et al., 2022, p.6), (Cai et al., 2021, p.6).	Lecho fijo	-Es de fácil construcción y operación, alto rendimiento de carbón.	-Formación de alquitranes, bajo rendimiento de productos líquidos y gaseosos
(López et al., 2011, p 62)	Semicontinuo	-Permite adicionar y remover los residuos durante la pirólisis -Sin pérdida de tiempo para calentar y enfriar el reactor entre lotes, permiten trabajar con grandes muestras y con gran tamaño de partícula, que son condiciones más cercanas a los de aplicaciones industriales potenciales	-Pueden sufrir de los gradientes de temperatura debido a la baja conductividad térmica

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las ventajas del reactor Discontinuo o batch es que son recomendables a escala laboratorio por su fácil operación, es seguro y tiene diseño simple (Miandad et al., 2016, p.2), así mismo (Kassargy et al., 2017, p.1) expone que este reactor tiene alta eficiencia de conversión de plástico a líquidos, mientras que la desventaja de este reactor es que a gran escala son inconsistentes y no rentables ya que se requiere de carga frecuente de la materia prima haciendo que el costo de mano de obra del proceso aumente (Al et al., 2017, p.18). Sin embargo, se validan las ventajas ya que los autores que exponen fueron obtenidos de revistas donde en el ranking de Scimago tienen Q1 en los últimos años y un H-index de más de 100.

Por otro lado, en las ventajas del reactor de lecho fluidizado es ideal para la pirólisis plástica ya que el catalizador puede ser reutilizado varias veces sin necesidad de descarga (Harussani et al., 2022, p.10). Los reactores de lecho fluidizado operan a velocidades de calentamiento más altas facilitando la pirólisis rápida y proporcionando relativamente mejor calor. Con baja conductividad térmica y alta viscosidad, la transferencia de calor eficiente es posible en este reactor y es preferible para estudios de laboratorio para determinar el efecto de la temperatura, tiempo de residencia en los productos de pirólisis (Kartik et al., 2022, p.15). Reforzando la ventaja antes expuesta se tiene que este tipo de reactor es más utilizado para procesos rápidos y pirólisis flash, incluyen la facilidad de operación, buen control de temperatura (Ren et al., 2022, p.5).

Además, también está (Maafa. 2021, p.8) que manifiesta que el reactor de lecho fluidizado se considera el mejor reactor que se puede emplear en la planta piloto debido a su bajo costo operativo y gran operación. Los lechos fluidizados tienen limitaciones, por el manejo de gran cantidad de arena, porque el proceso tiene lugar mediante la fusión y pirólisis del plástico sobre las partículas del lecho. Dificultando la uniformidad del

proceso, y a pesar del movimiento de las partículas en muchos casos no se puede evitar la aglomeración y adherencia del plástico fundido (Rodríguez,2015,p.85). Dando credibilidad a las ventajas ya que fueron obtenidas de revistas donde en el ranking del Scimago están en Q1 en los últimos años.

Los reactores de horno rotatorio se ocupan de partículas no uniformes con una amplia gama de capacidad calorífica. Este sistema ofrece ventajas en términos de aporte de calor al material de alimentación. La entrada de calor se puede regular ajustando el tiempo de residencia a través de la variación de la velocidad del tornillo que determina la distribución del producto desde el reactor (Kartik et al.,2022, p.14). Además, el proceso de horno rotatorio es una opción atractiva debido a su menor costo de capital(Yutao et al.,2020,p.2).El calor generalmente se suministra al horno a través de paredes calentadas externamente , tienen un diseño simple y, en general, son buenos para el tratamiento de desechos complejos de diferentes formas y tamaños de materias primas; sin embargo, si no se diseñan de manera óptima, sufren una transferencia de calor y un control de temperatura deficientes, lo que da como resultado material de polímero fusionado en el interior del reactor (Muhammad et al.,2020.p.4).Donde las ventajas que nos ofrecen los autores en las revistas tienen un ranking en el Scimago de Q1 en los años dados en las citas.

Reactor lecho fijo, estos reactores funcionan con alta conservación de carbono y baja velocidad de gas lo que hace que el tiempo de residencia en el reactor sea largo, además un problema importante de reactor es la formación de alquitranes. (Uddin, 2018, p.11). Una de las ventajas que tiene este reactor es que es que su operación y construcción es simple y de bajo costo, así mismo tiene un alto rendimiento de carbón, mientras que tiene algunas desventajas como problemas de eliminación y limpieza

del alquitrán, calor insuficiente, bajo rendimiento de productos líquidos y gaseosos. (Al et al., 2022. p.6), (Cai et al., 2021, p.6).

En cuanto al reactor semi discontinuo (Lopez et al., 2011, p.62) menciona que se puede adicionar y remover los residuos sin perder tiempo, sin embargo, pueden sufrir de los gradientes de temperatura debido a la baja conductividad térmica. Realizando una evaluación en el indicador Scimago identificando un índice de H de 248 con Q1 2021.

(Riesco et al., 2022, p.4,6,10) menciona que en un reactor semi discontinuo a temperaturas más altas o tiempos de residencia más bajos (alta velocidad de calentamiento), reducen el rendimiento de aceite pirolítico a expensas de aumentar el rendimiento de productos gaseosos. De igual manera (Inayat et al., 2020, p. 1) demostró que el reactor semi continuo superó al reactor discontinuo en términos de rendimiento de aceite y SM tanto en pruebas térmicas (no catalíticas) como catalíticas realizadas a 400°C.

Después de haber demostrado el funcionamiento y una serie de ventajas y desventajas de los tipos de reactores pirolíticos según los autores Miandad et al., 2016, p.2, Kassargy et al., 2017, p.1, Al et al., 2017, p.18, Harussani et al., 2022, p.10, Kartik et al., 2022, p.15, Ren et al., 2022, p.5, Maafa. 2021, p.8, Rodríguez, 2015, p.85, Yutao et al., 2020, p.2, Muhammad et al., 2020, p.4. Lewandowski, et al., 2019, p.27. Al et al., 2022. P6, Cai et al., 2021, p.6 y Lopez et al., 2011, p 62, se obtiene que el reactor más recomendable para degradar los plásticos es el reactor de lecho fluidizado por que tiene más ventajas por encima de los demás reactores, así mismo la arena de cuarzo utilizada en el reactor ayuda a degradar rápidamente al plástico, esto concuerda con (Jia et al., 2022, p.1-9) que argumenta que este reactor tiene más de 100 años siendo comercializado y ha reemplazado tecnologías que no son competitivas, además el reactor tiene una transferencia de calor alta y la

capacidad de mover sólidos continuamente durante la operación, aprobando que el reactor lecho fluidizado es muy adecuado para la pirólisis de plásticos. Así mismo este resultado tiene relación con el antecedente de Kamisky (2021,p.8) que al usar este reactor concluyó la pirólisis de plásticos es un método para reciclar plásticos y recuperar productos petroquímicos con amplio espectro de monómeros, hidrocarburos gaseosos y petróleo; y evitar la contaminación ambiental.

V. CONCLUSIONES

- Después de analizar los tipos de reactores pirolíticos se concluye que es una tecnología adecuada para la degradación de los residuos plásticos, ya que el proceso de degradar dicho residuo genera tres productos, una parte líquida, otra en forma de sólido y por último gas, dichos productos pueden ser utilizados como fuente de energía, además de que al utilizar estos reactores reduciremos la contaminación por residuos plásticos.
- Después de realizar la búsqueda de información sobre los tipos de reactores pirolíticos para degradar los residuos plásticos se identificó los principales parámetros de funcionamiento, los tipos de reactores cuentan con las siguientes: la presión, el tiempo de residencia, la temperatura y la velocidad de calentamiento, no obstante, el reactor de lecho fluidizado cuenta con otro parámetro que es el catalizador el cual ayuda a degradar más rápido a los residuos plásticos.
- En cuanto las ventajas y desventajas de los tipos de reactores se identificaron que el reactor discontinuo o batch tiene alta eficiencia de conversión de residuo plástico de polietileno a líquido y su gasto de energía es bajo puesto que por cada kg de residuo plástico consume 0.29KW/h de energía, así mismo se identificó que el reactor de lecho fluidizado consume 0.45 KW/h, además este reactor utiliza un catalizador por lo cual degrada más rápido el plástico con respecto al resto de los reactores.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fomentar el uso de los reactores pirolíticos con la finalidad de contrarrestar la problemática de la acumulación de los residuos plásticos, puesto que se genera productos que pueden ser comercializados como el líquido combustible generado por el proceso de pirolisis convirtiéndolo así en una tecnología auto sostenible y que contribuye a la reducción de la contaminación por residuos plástico.
- Se recomiendo a los estudiantes y colegas a seguir investigando sobre el uso de estas nuevas tecnologías como son los reactores pirolíticos, se recomienda usar el reactor de lecho fluidizado ya que gracias a su catalizador degrada los residuos plásticos en menor tiempo, así mismo se recomienda usar el tipo de plástico de poliestireno y polietileno.
- Se recomienda contar con los materiales óptimos y calibrados para poder realizar los análisis del proceso de pirolisis y así evitar fallo que serán perjudiciales para poder obtener resultados óptimos.

REFERENCIAS

AL,Salem, et al. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*. [en línea]. vol. 197,15 Julio 2017. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en [http: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084)
ISSN: 0301-4797

AL,Salem .Thermal Pyrolysis of High Density Polyethylene (HDPE) In A Novel Fixed Bed Reactor System For The Production Of High Value Gasoline RangeHydrocarbons (HC), *Process Safety and Environmental Protection*[en línea]. 2019[Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.008>

AL, Aisha, et al. A review of pyrolysis technologies and feedstock: A blending approach for plastic and biomass towards optimum biochar yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea],vol.167.2022. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2022]. Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112715>
ISSN: 1364-0321

ANUAR, Shafferina, et al. A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management* [en línea].vol 115. Febrero 2016. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
ISSN: 0196-8904

ARCE,Juan y SUAREZ,Shirley . Obtención y caracterización de combustible a partir de desechos termoplásticos PEBD (low density polyethylene) recolectados en la universidad de Guayaquil. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

2017. Disponible en: <http://repositorio.uq.edu.ec/handle/redug/18340>

AZUBUIKE, Francis, et al. Experimental Study of Thermal and Catalytic Pyrolysis

of Plastic Waste Components. *Sustainability* [en línea]. octubre 2018. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su10113979>

BALSECA, Otto, et al. Diseño de un prototipo de reactor de pirólisis térmica para la descomposición y aprovechamiento de residuos plásticos fabricados apartir de: PP, PE, Y PS. *Polo de conocimiento*. [en línea]. vol.6, n°5.mayo 2021.[Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en [http:// https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2668](http://https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2668)

ISSN: 2550 - 682X

BARBOZA, Luiz, et al. Macroplastics pollution in the marine environment. *WorldSeas: an Environmental Evaluation (Second Edition)*. [en línea]. vol.III. 2019[Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00019-X>

ISBN: 9780128050521

BELLÓN,Óscar, TOVAR ,Edilberto y MUÑOZ, Efrén. Simulación de un sistemade control de temperatura en un reactor de pirólisis de residuos plásticos urbanos.Ingenium[en línea]. n°36. diciembre 2017. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21500/01247492.3435>

ISSN: 0124-7492

CAI, Wenfei, et al. A review on the selection of raw materials and reactors for biomass fast pyrolysis in China. *Fuel Processing Technology*. [en

línea] vol. 221, junio 2021. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022].
Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106919>
ISSN: 0378-3820

CAJAS, Alex y CAMPAÑA, Brandao. Obtención y caracterización de un combustible obtenido a partir de los desechos del PET y PP. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Guayaquil: Universidad de Guayaquil. 2019. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39910>

CHATTOPADHYAY, T, et al. Catalytic co-pyrolysis of paper biomass and plastic mixtures (HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene) and PET (polyethylene terephthalate)) and product análisis. *Energy* [en línea]. vol.103,2016. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.015>
ISSN: 0360-5442

CORELLA, Stefani. Considerations during the design and operation of laboratory reactors for catalytic cracking and pyrolysis, co-processing and hydroprocessing- ba systematic literature review. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Quito: Universidad de San Francisco de Quito. 2020. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/10160>

CRAWFOR, Christopher y QUINN, Brian. Physiochemical properties and degradation. *Microplastic Pollutants*. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9>
ISSN: 97801280

DAI, Leilei, et al. Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science* [en

línea].vol 93. Noviembre 2022. [Fecha de consulta: 03 de julio de 2022].
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.101021>

DAS, P y TIWARI, P.The effect of slow pyrolysis on the conversion of packaging waste plastics (PE and PP) into fuel. *Waste. Management.* [en línea]. vol. 79,2018. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en [http:// https://doi.org/1016/j.wasman.2018.08.021](http://https://doi.org/1016/j.wasman.2018.08.021)
ISSN: 0956-053X

DUQUE,Joao, et al. Developing a combustion-driven reactor for waste conversion. *Energy* [en línea] vol. 237. 2021. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121489>
ISSN:0360-5442

GARTZEN, Maite, et al.Styrene recovery from polystyrene by flash pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Waste Management.*[en línea]vol.45, noviembre2015. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.034>
ISSN: 0956-053X

GEYER, Roland, JAMBECK, Jenna y LAVENDER, Kara. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances.* [en línea]. vol. 3. n° 7. junio 2017 [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
ISSN: 2375-254

GRANADOS, Sergio. Física y Anestesia. *Anestesia en México.* [en línea].vol.30,n°3.Diciembre 2018.[Fecha de consulta:13 de julio de 2022].Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-

[87712018000300006](https://doi.org/10.11177/0734242X20936746)

ISSN: 2448-8771

HARO, Ana, BORJA, Angélica y TRIVIÑO, Soraya. Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las ciencias*. [en línea]. vol.3, nº2. 1 mayo 2017. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>

ISSN: 2477-8818

HARUSSANI, M., et al. Pyrolysis of polypropylene plastic waste into carbonaceous char: Priority of plastic waste management amidst COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*. [en línea]. vol. 803.2022. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149911>

ISSN: 0048-9697

INAYAT, Amer, et al. Thermo-catalytic pyrolysis of polystyrene in batch and semi-batch reactors: A comparative study. *Waste Management & Research* [en línea]. mayo 20. [Fecha de consulta: 25 de septiembre]. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X20936746>

JAHIRUL, N, et al. Transport fuel from waste plastics pyrolysis – A review on technologies, challenges and opportunities. *Energy Conversion and Management*. [en línea]. vol.258.2022. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: 2017 [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

ISSN: 2375-254

LEWANDOWSKI, Witold, JANUSZEWICZ, Katarzyna y KOSAKOWSKI, Wojciech. Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on the reactor type—A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea].vol 140. 2019. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.018>
ISSN:0165-2370

MAAFA,Ibrahim. Pyrolysis of Polystyrene Waste: A Review.*Polymers* [en línea].vol.13 n°225. Enero 2021.[Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13020225>

MARTYNIS,M,etal. Thermal Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste into Liquid Fuel:Reactor Performance Evaluation.*Materials Science and Engineering*. [en línea].vol. 543,2019. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022].Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012047>
ISSN: 17578981

MESA,María y ORTIZ,Carol. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PIROLISIS PARA LA PRODUCCIÓN DE DIESEL A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS DE INDUSTRIAS DE ALIMENTOS.Tesis (Magister en Ingeniería Química). Bogotá: UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. 2016.Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/477>

MENDOZA,America. Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis.Tesis(Magister en Ingeniería mecánica). Salamaca: Universidad de Guanajuato.2016. Disponible en: <http://www.repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/116>

MENG.Zhang, et al. Numerical investigation on the heat transfer of plastic waste pyrolysis in a rotary furnace. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. abril 2022. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136686>

MIANDAD,R, et al. Influence of temperature and reaction time on the conversion of polystyrene waste to pyrolysis liquid oil. *Waste Management* [en línea]. septiembre 2016. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.023>

ISSN:0956-053X

MIANDAD, R, et al. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. [en línea]. vol. 119.2017. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.017>

ISSN: 0964-8305

Ministerio del Ambiente (MINAM). MINAM: El plástico representa el10% de todos los residuos que generamos en el Perú. [en línea] 20 de mayo del 2018.[Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/>

MUHAMMAD, Saad, et al. Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea].vol 152.marzo2020. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104804>

ISSN: 0165-2370

MORALES,A, VAZQUEZ,A y HERNANDEZ,C. ANALYSIS AND CONTROL OF A DISTRIBUTED PARAMETER REACTOR FOR PYROLYSIS OF WOOD.*Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea].vol 14, n°2. Mayo 2015. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S166527382015000200029&script=sci_abstract

ISSN 1665-2738

NAJAFI, Vahid Y ABDOLLAHI. Hosein. Internally plasticized PVC by four different green plasticizer compounds. *European Polymer Journal*. [en línea].vol. 128.Marzo 2020. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109620>

ISSN: 0014-3057

OBANDO, Gabriel. Condiciones de diseño de un Reactor de Pirolisis a escalade laboratorio para la obtención de Biocarbón a partir de Residuos Orgánicos Sólidos (ROS). Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Manizales: Universidad de Manizales.2015.Disponible en:<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2590>

ONU Medio Ambiente. Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,Oficina

para América Latina y el Caribe. A. [en línea]. 2018. [Fecha de consulta:

13 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>

OROZCO, Santiago, et al. Pyrolysis of plastic wastes in a fountain

confined conical spouted bed reactor: Determination of stable operating conditions. *Energy Conversion and Management*. [en línea]. vol.229.febrero 2021. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113768>
ISSN: 0196-8904

PALMAY, Paul, et al. Production and Analysis of the Physicochemical Properties of the Pyrolytic Oil Obtained from Pyrolysis of Different Thermoplastics and Plastic Mixtures . *Moléculas*. [en línea].2022. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules27103287>

PALMAY, Paúl, MEDINA, Carlos y VARGAS, Katherine. Pirolisis de plásticos de invernadero para recuperar ceras líquidas útiles para refinación. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*[en línea].vol. 5 n°3. Junio 2021. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.464
ISSN 2707-2215

PARK, Ki, JEONG, Yong y KIM, Joo. Activator-assisted pyrolysis of polypropylene. *Applied Energy*. [en línea].vol. 253,2019, . [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113558>
ISSN: 0306-2619

QUESADA, Lucía. Desarrollo de tratamientos térmicos sostenibles para la valorización del plástico procedente de la fracción rechazo de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos. Tesis (Magister en

Ingeniería Química). Granada: Universidad de Granada.2021. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/70727>

REN, Guo, et al. Progress and challenges in sustainable pyrolysis technology:Reactors,feedstocks and products.*Fuel* [en línea]. vol 324. Junio 2022. [Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2022]. Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124777>

ISSN: 0016-236

RIESCO, José, et al. Effects of Heating Rate and Temperature on the Yield of Thermal Pyrolysis of a Random Waste Plastic Mixture. *Sustainability* [en línea].julio 2022. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14159026>

RODRIGUEZ, Fayna. Simulación de un Proceso de Pirólisis de Plásticos empleando ASPEN – HYSYS.Tesis (Magister en Ingeniería Química Industrial). Las Palmas de gran Canaria : Universidad de Las Palmas de GranCanaria.2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10553/105898>

RONDON, Evelyn, et al. Comparación de las leyes sobre el consumo de bolsasplásticas en Perú y Chile. *Producción más limpia*. [en línea]. vol.15, 2020. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en <http://https://doi.org/10.22507/pml.v15n2a9>

ISSN:1909-0455

RUMING,Pan, FERREIRA,Marcio y DEBENEST,Gerald. Pyrolysis of waste polyethylene in a semi-batch reactor to produce liquid fuel: Optimization of operating conditions. *Energy Conversion and Management* [en línea].vol 237.2021. [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2022]. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114114>

SINGH, R, et al. Waste plastic to pyrolytic oil and its utilization in CI engine: Performance analysis and combustion characteristics . *Fuel*. [en línea]. vol.262, Febrero 2020. [fecha de consulta: 13 de Julio de 2022], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116539>

ISSN: 0016-23

SOGANCIOGLU, Merve , YEL, Esra y AHMETLI, Gulnare. Behaviour of waste polypropylene pyrolysis char-based epoxy composite materials. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. diciembre 2019. [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07028-3>

TARIQ MAQSOOD, Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Environmental Science and Pollution Research* [en línea] 2021, Volume 159 [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105295>.

TORRES, Carlos. El futuro de los plásticos o los plásticos del futuro. *Cuad. Cent. Estud. Diseñ. Comu.n* [en línea]. n°87. Octubre 2020. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18682/cdc.vi87.3768>

ISSN: 1853-3523

TU ,Xayachak, et al. Pyrolysis for plastic waste management: An engineering perspective. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. vol.10. diciembre 2022. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108865>

UKAOGO, Príncipe, EWUZIE, Ugochukwu y ONWUKA, Chibuzo. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>

ISSN: 9780128190012

ULLAH, Li, et al. Experimental analysis on products distribution and characterization of medical waste pyrolysis with a focus on liquid yield quantity and quality. *Science of The Total Environment*. [en línea]. vol. 829, 2022. [fecha de consulta 23 de mayo del 2022], disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154692>

ISSN: 0048-9697

WONG, Syie et al., Plastic pyrolysis over HZSM-5 zeolite and fluid catalytic cracking catalyst under ultra-fast heating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105793>

YANSANEH, O. y ZEIN, S. Recent Advances on Waste Plastic Thermal Pyrolysis: A Critical Overview. *Processes*. [en línea] vol. 10, n° 2. 2022. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr10020332>

YUTAO, Zhang, et al. Liquid oils produced from pyrolysis of plastic wastes with heat carrier in rotary kiln. *Fuel Processing Technology* [en línea]. mayo 2020. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106455>

XUE, Yuan, et al. Fast pyrolysis of biomass and waste plastic in a fluidized

bed reactor. *Fuel* [en línea]. abril 2015. [Fecha de consulta: 13 de
septiembre de 2022]. Disponible en

[:http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.033](http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.033)

ISSN:0016-2361

ANEXOS

Anexo 01: Matriz apriorística

Tabla 6 Tabla de Categorización

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA
¿Cuáles son los tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos?	Analizar los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos	¿Cuáles son los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos?	Determinar los tipos de reactores pirolíticos para la degradación térmica de los residuos plásticos	Tipos de reactores	Reactor de horno rotatorio
					Reactor semi continuo
					Reactor discontinuo
					Reactor de lecho fluidizado
					Reactor de lecho fijo
		¿Cuáles son los principales parámetros de cada reactor?	Identificar los principales parámetros de cada tipo de reactor pirolítico	Parámetros	Temperatura
					Tiempo de residencia
					Presión
		Velocidad de calentamiento			
¿Cuáles son las ventajas y	Describir las ventajas y	Ventajas y desventajas	Producto final		

		desventajas de los diferentes reactores pirolíticos?	desventajas de los diferentes reactores pirolíticos.		Escala de reactor
					Diseño

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02: Instrumento de recolección de información

Tabla 7 Ficha de registro de datos

N°	Fuente	Idioma	Autor	Año	Base de datos	Enlace

Fuente: Elaboración propia

N°	Fuente	Idioma	Autor	Año	Base de datos	Enlace
1	ARTÍCULO	INGLÉS	Al-Salem et al.	2017	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084
2	ARTÍCULO	INGLÉS	Geyer et al.	2017	SCOPUS	https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782
3	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Rondon et al.	2020	EBSCO	https://doi.org/10.22507/pml.v15n2a9
4	ARTÍCULO	INGLÉS	Ukaogo et al.	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8
5	ARTÍCULO	INGLÉS	Barboza et al.	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00019-X
6	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Haro et al.	2017	EBSCO	https://dialnet.unirioja.es/servlet/lo?codigo=6325873
7	ARTÍCULO	INGLÉS	Miandad et al.	2017	SCIENCEDIRECT	http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.017

8	ARTÍCULO	INGLÉS	Yansaneh y Zein	2022	PROQUEST	https://doi.org/10.3390/pr10020332
9	TESIS	ESPAÑOL	Cajas y Campaña	2019	REPOSITORIO	http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39910
10	TESIS	ESPAÑOL	Quesada	2021	REPOSITORIO	https://digibug.ugr.es/handle/10481/70727
11	TESIS	ESPAÑOL	Arce y Suarez	2017	REPOSITORIO	http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18340
12	ARTÍCULO	INGLÉS	Ullah et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154692
13	ARTÍCULO	INGLÉS	Singh et al.	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116539
14	ARTÍCULO	INGLÉS	Harussani et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149911
15	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Balseca et al.	2021	EBSCO	https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2668
16	ARTÍCULO	INGLÉS	Anuar et al.	2016	SCIENCEDIRECT	http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037

17	ARTÍCULO	INGLÉS	Martynis et al.	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012047
18	ARTÍCULO	INGLÉS	Das y Tiwari	2018	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.16/j.wasman.2018.08.021
19	ARTÍCULO	INGLÉS	Palmay et al.	2022	SCOPUS	https://doi.org/10.3390/molecules27103287
20	TESIS	ESPAÑOL	Obando	2015	REPOSITORIO	https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2590
21	ARTÍCULO	INGLÉS	Park,Jeong y Kim	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113558
22	ARTÍCULO	INGLÉS	Chattopadhyay et al	2016	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.015
23	ARTÍCULO	INGLÉS	Yutao et al.	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106455
24	ARTÍCULO	INGLÉS	Orozco et al.	2021	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113768
25	ARTÍCULO	INGLÉS	Gartzen et al.	2015	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.034

26	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Granados	2018	SCIELO	http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-87712018000300006
27	TESIS	INGLÉS	Corella	2020	REPOSITORIO	http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/10160
28	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Torres	2019	EBSCO	http://dx.doi.org/10.18682/cdc.vi87.3768
29	ARTÍCULO	INGLÉS	Jahirul et al.	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115451
30	ARTÍCULO	INGLÉS	Miandad et al.	2016	SCIENCEDIRECT	http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.023
31	ARTÍCULO	INGLÉS	Crawford y Quinn	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9
32	ARTÍCULO	INGLÉS	Najafi y Abdollahi	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109620
33	ARTÍCULO	INGLÉS	Kassargy et al.	2017	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jaa.p.2017.09.005

34	ARTÍCULO	INGLÉS	Azubuike et al.	2018	SCIENCEDIRECT	http://dx.doi.org/10.3390/su10113979
35	TESIS	ESPAÑOL	Mesa y Ortiz	2017	REPOSITORIO	https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/477
36	ARTÍCULO	ESPAÑOL	Palmay, Medina y Vargas	2021	EBSCO	https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.464
37	ARTÍCULO	INGLÉS	Kaminsky	2021	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.100023
38	ARTÍCULO	INGLÉS	Xue et al.	2015	SCIENCEDIRECT	http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.033
39	ARTÍCULO	INGLÉS	Ren et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124777
40	ARTÍCULO	INGLÉS	Al	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.008
41	ARTÍCULO	INGLÉS	Cai et al.	2021	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106919

42	TESIS	ESPAÑOL	Mendoza	2016	REPOSITORIO	http://www.repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/116
43	ARTÍCULO	INGLÉS	Ruming et al.	2021	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114114
44	ARTÍCULO	INGLÉS	Meng et al.	2017	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136686
45	ARTÍCULO	INGLÉS	Lewandowski et al.	2019	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jaa.p.2019.03.018
46	ARTÍCULO	INGLÉS	Sogancioglu	2019	PROQUEST	https://doi.org/10.1007/s11356-019-07028-3
47	ARTÍCULO	INGLÉS	Riesco et al.	2022	SCOPUS	https://doi.org/10.3390/su14159026
48	ARTÍCULO	INGLÉS	Kartik et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.tse.p.2022.101316
49	ARTÍCULO	INGLÉS	Maafa	2021	SCOPUS	https://doi.org/10.3390/poly13020225

50	TESIS	ESPAÑOL	Rodríguez	2015	REPOSITORIO	http://hdl.handle.net/10553/105898
51	ARTÍCULO	INGLÉS	Muhammad et al.	2020	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jaa.p.2020.104804
52	ARTÍCULO	INGLÉS	Lopez et al.	2011	SCIENCEDIRECT	
53	ARTÍCULO	INGLÉS	Uddin	2018	PROQUEST	
54	ARTÍCULO	INGLÉS	Al et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112715
55	ARTÍCULO	INGLÉS	Morales, Vazquez y Hernandez	2015	SCIELO	https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S166527382015000200029&script=sci_abstract
56	ARTÍCULO	INGLÉS	Dai et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.101021
57	ARTÍCULO	INGLÉS	Jia et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117813
58	ARTÍCULO	INGLÉS	Tu et al.	2022	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108865

59	ARTÍCULO	INGLÉS	Duque et al.	2021	SCIENCEDIRECT	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121489
----	----------	--------	--------------	------	---------------	---

FUENTE: Propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Revisión sistemática de tipos de reactores pirolíticos utilizados para la degradación térmica de los residuos plásticos", cuyos autores son MARREROS GARCIA JOSE DE LA CRUZ HARON, CARRANZA VIGO CANDY MISHEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 21 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO DNI: 18110481 ORCID: 0000-0002-0215-5175	Firmado electrónicamente por: MAQUEZADAA el 20- 12-2022 19:51:46

Código documento Trilce: TRI - 0449029