



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



PIRÓLISIS COMO TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

ANGIE CAROLINA AGREDO CARREÑO

LAURA VALENTINA BARRIOS VALLEJO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

DIPLOMADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y HERRAMIENTAS APLICADAS EN

RECURSOS HÍDRICOS

2021



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



PIRÓLISIS COMO TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

AUTORES

ANGIE CAROLINA AGREDO CARREÑO

LAURA VALENTINA BARRIOS VALLEJO

PRESENTADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE: INGENIERA CIVIL

DIRECTOR

ING. MANUEL ANTONIO CONTRERAS

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA-COLOMBIA

2021



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
METODOLOGÍA.....	7
CAPÍTULO I: RESIDUOS SOLIDOS.....	7
1. ¿Que Son Los Residuos Sólidos?	7
2. Residuos Sólidos en América Latina	8
3. Residuos Sólidos en Colombia	10
4. Clasificación de Residuos Solidos	12
5. Gestión De Residuos Sólidos Urbanos	15
6. Transformación De Residuos Solidos.....	19
CAPÍTULO 2	21
LA PIRÓLISIS	21
1. ¿Qué Es La Pirólisis?.....	21
2. Etapas De La Pirólisis	24
3. Tipos De Pirólisis	25
3.1 Pirólisis Rápida	27
3.2 Pirólisis Intermedia	42
3.3 Torrefacción	43
4. Reacciones De Pirólisis	52
4.2 Contaminación Producida Por Pirólisis De Rsu.....	57
CAPÍTULO 3.....	59
ESTADO DEL ARTE	59
CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFIA	74



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Gestión de residuos solidos	16
Ilustración 2 “Aplicaciones de los productos de la pirólisis rápida”	27
Ilustración 3 Esquema que ilustra un reactor de lecho fijo usado en el proceso de Pirólisis rápida	36
Ilustración 4 “Esquema de reactor de pirólisis rápida en lecho fluidizado”	38
Ilustración 5. Reactor de pirólisis rápida en lecho circulante.....	39
Ilustración 6. “Reactor de abrasión para pirólisis rápida”	40
Ilustración 7 “Esquema de un reactor de cono rotario para pirólisis rápida.”	41
Ilustración 8 “Efecto de la temperatura en el proceso de torrefacción”	48
Ilustración 9 “Productos de la Pirólisis de biomasa”	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los residuos solidos.....	14
Tabla 2 Procesos de transformación utilizados en la gestión de residuos sólidos.....	20
Tabla 3 Tipos de pirólisis	25
Tabla 4 Tecnologías más comunes en el proceso de Pirólisis rápida.....	30
Tabla 5 Modelos de reactores para torrefacción.....	46
Tabla 6 Implementación del proceso de torrefacción.....	47



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha venido presentando una problemática ambiental a nivel global, producto del mal manejo de los residuos sólidos, ya que el aumento desmedido de estos y la baja tasa de reciclaje, son algunas de las problemáticas, que permiten observar la urgencia de un plan de gestión de los residuos sólidos (Jaramillo, 2019). Es fundamental conocer que toda actividad humana que incluya una alteración en la naturaleza generara algún tipo de impacto por ende generará desechos, producto de esto la contaminación ha llegado a niveles no imaginables, convirtiéndose en una preocupación común, debido a que las consecuencias de estas problemáticas ambientales ya se están presentando como son: “el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la crisis energética, escasez de recursos, el exceso de desechos o residuos, la inadecuada disposición final de estos, y la contaminación del aire, el agua y los suelos.” (Jaramillo, 2019)

Mediante estudios y diferentes análisis se ha podido comprobar que uno de los componentes más significativos para el incremento de dichos problemas es el acelerado crecimiento de la población a niveles sin precedentes durante las últimas décadas, esto conlleva a un mayor consumo de recursos y por lo tanto a una mayor producción de residuos (Jaramillo, 2019).

Por esta razón, a través de los años se han venido presentando propuestas para implementar una conciencia ambiental que permita dar paso a nuevas tecnologías de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



reciclaje, debido a que este último ha sido una gran estrategia para la mitigación en la gestión de los residuos. Aunque la implementación de estos métodos es insuficiente en el momento de disminuir la contaminación. Es por esta razón que se hace necesario prestar atención a nuevas técnicas que permitan gestionar los residuos de “una manera más eficiente y eficaz” logrando obtener ventajas en cuanto a la producción energética, dentro de las tecnologías que apoyan estas iniciativas, se encuentran: “la incineración, la gasificación y la Pirólisis.” (Dueñas, 2015)

El presente trabajo tratara acerca de la Pirólisis, sus tipos, sus procesos y la importancia de usarla como tratamiento de residuos sólidos urbanos ya que esta es una de las alternativas térmicas de residuos más usada en los últimos años, es una tendencia de desarrollo, oportunidad y posibilidad futurista, debido a que es un proceso que consiste en la transformación de los residuos mediante aplicación de energía calorífica, “el calor”, el cual juega un papel importante en este proceso, fundamenta el desafío de esta técnica e influye en la posibilidad de que el producto final de esta, pueda utilizarse como materia prima en diversas industrias ya que parte de una variable importante como lo es la contaminación, la pirólisis emplea mecanismos que recuperan y gestionan “la funcionalidad de la reducción a lo largo del tiempo, la disposición final y el aumento generado por los residuos sólidos.” (Gomez, 2008)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



METODOLOGÍA

CAPÍTULO I: RESIDUOS SÓLIDOS

1. ¿Que son los residuos sólidos?

“Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico.” Una definición más o menos elaborada de residuo es aquella que considera que “el termino residuo comprende todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal, e incluye tanto los que han devenido inaprovechables (desechos), como los que simplemente subsisten después de cualquier tipo de proceso (restos o residuos propiamente dichos)”. (Campis Eritja, 1994)

Por otra parte, la Organización de las Naciones Unida, en la parte de desarrollo industrial define “desecho como todo lo generado producto de las acciones directas del hombre, sus actividades cotidianas o por la actividad de organismos que se forman en la acción de una masa heterogénea que es difícil de reintegrarse a la naturaleza.” (ONU, 2007).

Por otra parte, se puede definir los desechos como “Todos aquellos desperdicios que no pueden ser transportados por un medio hídrico y que han sido rechazados ya que no se les dará un nuevo uso”; Estos desechos pueden incluir diversos materiales capaces de liberar



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



energía como plástico, papel, textiles, madera, etc. y no combustibles como metal, vidrio y otros (Heinke, 2007).

2. Residuos sólidos en América Latina

“Los problemas ambientales a nivel global, generados por la inadecuada gestión de los residuos sólidos son una realidad que no puede desconocerse” (Flecha, 2016). “El aumento desmedido de la generación de residuos, la baja tasa de reciclaje, y las islas de plástico entre otros, son algunos referentes tangibles, que permiten observar la pertinencia y urgencia de la gestión de los residuos sólidos. Es sabido que toda actividad humana que incluya modificación a la naturaleza genera algún tipo de desecho, lo que ha generado que la contaminación llegue a niveles sin precedentes, convirtiéndose en una preocupación común y generalizada, de hecho ya se están sintiendo las consecuencias de problemas ambientales puntuales como son: “el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la crisis energética, escasez de recursos, el exceso de desechos o residuos, la inadecuada disposición final de estos, y la contaminación del aire, el agua y los suelos.” (Flecha, 2016).

“Es importante recalcar que, dentro del contexto de análisis, algunos de los factores más relevantes para el incremento exponencial de dichos problemas es el desmesurado crecimiento de la población a nivel mundial” (Flecha, 2016), “la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades en las últimas décadas, puesto que esto conlleva inevitablemente a un mayor consumo de recursos y por ende mayor producción de residuos.” (Quintero, 2008)

“El impacto ambiental negativo asociado al manejo inadecuado de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe está relacionado con la contaminación de los recursos hídricos superficiales, subterráneos y costas marinas; la contaminación atmosférica; la contaminación del suelo y el impacto sobre el paisaje. (Acurio, 2019) recalca que la protección del ambiente, al igual que las medidas tomadas para la prevención de la contaminación, tienen limitaciones de orden institucional, de legislación ambiental, de recursos financieros y, sobre todo, de vigilancia y autoridad para el cumplimiento de las regulaciones. De otro lado, las políticas para reducir la generación de residuos sólidos urbanos, especiales y peligrosos aún no generan buenos resultados.” (Acurio, 2019)

“En América Latina y el Caribe, el impacto ambiental negativo ocasionado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos, se manifiesta en el siguiente orden decreciente de riesgo: sitios de disposición final, sitios de almacenamiento temporal, estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y recuperación, y finalmente, en el proceso de recolección y transporte.” (Acurio, 2019)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3. Residuos sólidos en Colombia

“En Colombia el manejo de los residuos sólidos, históricamente, se ha realizado priorizando la función del servicio de aseo, debido a los residuos sólidos generados principalmente en los centros urbanos ya que a partir de las consideraciones de tipo higiénico y sanitario se ha generado una inquietud. Todo radica cuando la comunidad empezó a dejar los residuos en espacios públicos para que se realizara el respectivo retiro, generando incomodidad con los transeúntes; Es en este instante nace el proceso de recolección, como parte fundamental de un servicio público sin necesidad de tener en cuenta a donde irán a parar dichos residuos, o fundando como método de disposición final de residuos, la descarga al cielo.” (Chiaramonti, 2007)

“El Ministerio de Salud, en la dependencia de Saneamiento Ambiental, en el año 1975, entrego un balance de la situación de los residuos sólidos en Colombia. Con esta información se pudo generar “el programa nacional de aseo urbano”, ya que con el diagnóstico se identificaron distintas problemáticas como, los bajos niveles de cobertura, uso inadecuado de equipos, abandono de la prestación de aseo ya que es un servicio que se no realiza en los centros urbanos pequeños, por lo tanto se da un mal manejo del servicio debido a que se cobra como un impuesto y no como tarifa, entre otros. Lo que más se destaca es que ninguno de los centros urbanos estudiados utilizaba un proceso de disposición final de residuos sólidos correcto, pero si se contaba con actividades de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



reciclaje y recuperación de papel, cartón, vidrio y chatarra, entre otros elementos.”

(Medina, 2018)

“En Colombia, La problemática ambiental de los residuos sólidos ha tomado fuerza en los últimos años, y se ha reglamentado a través del tiempo su recolección, transporte, tratamiento y disposición final. (Olivero, 2010) determina que los rellenos sanitarios son el método de mayor utilización en Colombia para disposición final de los residuos sólidos, método que en la actualidad está generando un impacto social negativo, asociado a la extensión de áreas de terreno que al culminar el proceso, tienen muchas limitaciones en su aprovechamiento, esto sumado al incremento poblacional que se está dando en las ciudades y que obliga al retiro de las zonas urbanas de estos sistemas, incrementando los costos de disposición en el mejor de los casos, en otros donde se imposibilita la construcción de los mismos y se hace necesario realizar trayectos más largos para disponer en sistemas de otros municipios, por lo anterior se hace necesario desarrollar nuevas metodologías que reduzcan los impactos ambientales asociados a disposición final de los residuos y a su aprovechamiento.” (Olivero, 2010)

Partiendo de documentos como: “Contaminación Industrial en Colombia”, “El estado del ambiente en Colombia (1994)”, “Bases Técnicas para el Plan del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico” del “Mindesarrollo” (1995)”. Se creó un documento comandado por el “Minambiente” y que contó con el apoyo de la “OPS/OMS” y el “Banco



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Mundial”, denominado “Análisis sectorial de Residuos Sólidos en Colombia”, en este documento se exhibe una idea que abarca los principios conceptuales para lograr una “gestión integrada de residuos sólidos en Colombia”. “Está conformado de cinco capítulos: Diagnostico; Bases; Objetivos y Metas; Estrategias y Plan de Acción.” En este se determina que la problemática ambiental de los residuos sólidos está mancomunada “con seis aspectos esenciales”: ((BIRF), 1996)

- “Prácticas inadecuadas en la disposición final de los residuos.” ((BIRF), 1996)
- “Manejo de los residuos sólidos fundamentalmente ligado en la parte de aseo.” ((BIRF), 1996)
- “Generación creciente de residuos y deficiencias en el aprovechamiento y valoración de los mismos.” ((BIRF), 1996)
- “Poco progreso institucional del sector.” ((BIRF), 1996)
- “deficiencia en el ámbito educativo y baja interacción de la comunidad con el manejo de residuos.” ((BIRF), 1996)
- “Ausencia de conocimientos del problema.” ((BIRF), 1996)

4. Clasificación de residuos sólidos

“Las prácticas diarias, bien sean de tipo doméstico, comercial o industrial, implican procesos sencillos o complejos que generan una diversidad de bienes e igualmente de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



desechos; en principio, se les consideran inservibles y se les denomina residuos.” (Pineda, 2019)

Según (Pineda, 2019) “dentro de esos residuos se encuentran diferentes tipos, clasificados de acuerdo con su estado (líquido, sólido, gaseoso), origen (residencial, comercial, industrial); manejo (peligrosos e inertes) y, por último, a su composición (orgánicos e inorgánicos).” (Pineda, 2019)

“Los residuos han sido clasificados de diversas maneras. Estructuralmente mantienen ciertas características desde su origen hasta su disposición final. Los diferentes usos de los materiales, su biodegradabilidad, combustibilidad, reciclabilidad y aprovechamiento, juegan un papel importante en la percepción de quien los clasifica, con la posibilidad de discrepancias entre una u otra clasificación.” (Pineda, 2019)

Complementando la información anterior “los residuos sólidos se clasifican de manera distinta en todos los países.” (Heinke, 2007). “La Organización Panamericana de la Salud (ops)” agrupa los desechos dependiendo de distintas características como lo son: “su fermentabilidad en desechos orgánicos e inorgánicos; según su inflamabilidad en combustibles y no combustibles; según su procedencia en domésticos, de jardinería, de barrido, etc. y según su volumen en convencionales y especiales”. (Heinke, 2007)

A continuación, se presentará una clasificación detallada de los residuos sólidos:

Tabla 1 Clasificación de los residuos sólidos

Tipos	Clases	Ejemplos
Doméstico y Comercial	Orgánicos (combustibles)	Restos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todos los tipos, ¹ textiles, goma, cuero, madera y desechos de jardín.
	Inorgánicos (incombustibles)	Vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales ferrosos, suciedad. Artículos voluminosos (línea marrón): muebles, lámparas, bibliotecas, archivadores. Línea blanca: cocinas, hornos, neveras, lava-doradas y secadoras. Pilas y baterías provenientes de artículos domésticos y vehículos.
	Especiales	Aceites y cauchos generados por los automóviles.
Institucionales	Igual que los domésticos y comerciales	Se generan en instituciones gubernamentales, escuelas, hospitales ² y cárceles.
Construcción y demolición	Construcción	Ladrillos, hormigón, piedras, suciedad, maderas, grava, piezas de fontanería, calefacción y electricidad.
	Demolición	Similar a los desechos de construcción, pero pueden incluir vidrios rotos, plásticos y acero de reforzamiento.
Servicios municipales	Difusos	Limpieza de calles, playas, cuencas, parques, y otras zonas de recreo, paisajismo. Vehículos abandonados y animales muertos.
Plantas	Plantas de tratamiento	Fangos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
	Plantas de incineración	Cenizas, vidrio, cerámica, metales, Madera.
Industriales		Desechos de plantas de procesos industriales, chatarra, desechos especiales y peligrosos.
Agrícolas y pecuarios		Desechos de cultivos y estiércol generado por la ganadería de leche y engorde.

Fuente: Revista Economía XXXIV (enero-junio 2009)



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5. Gestión de residuos sólidos urbanos

La gestión de residuos se suele definir como “el conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos en una zona determinada el destino más adecuado desde el punto de vista económico y ambiental, según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y comercialización, coste de tratamiento y normativa legal”.

(Francisco J Andre, 2006)

“Esta definición se vincula naturalmente con lo que podemos llamar un enfoque posconsumo de la gestión de RSU, que consiste en tomar como dada la cantidad y composición de residuos generados y establecer la combinación más apropiada de métodos para su tratamiento.” (Everett, 2005). Esta política se basa en tres principios para el desarrollo sostenible, los cuales son: “la minimización del impacto ambiental negativo que causan los residuos, el crecimiento económico y el mejoramiento de la calidad de vida, así como de las condiciones sociales de quienes intervienen directamente en las actividades relacionadas con la gestión de los residuos sólidos” (Ambiente, 1997).

5.1 Gestión integral de residuos sólidos (Girs)

“Es el conjunto de acciones enfocadas en reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables”. (Arias).

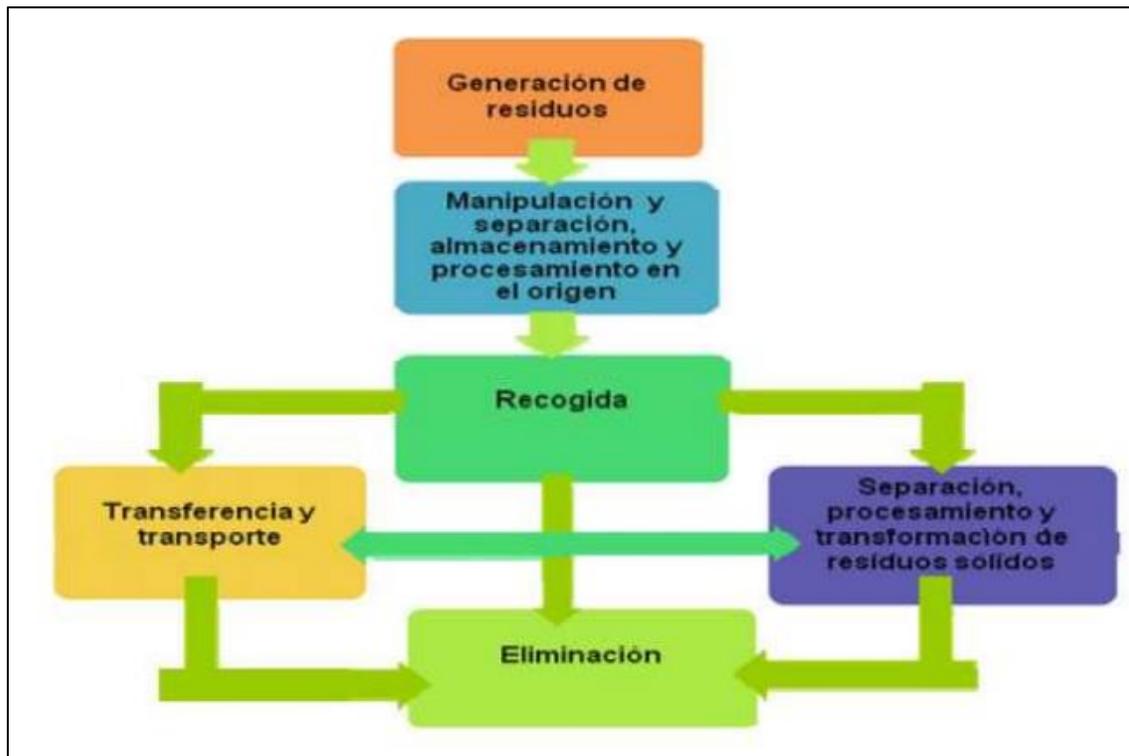


Ilustración 1 Gestión de residuos sólidos

Fuente: Documento “Gestión Integral de RSU”



5.1.1 Etapas de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Girs)

ETAPA	CONCEPTO
Generación	Describe la generación de residuos como consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre, provenientes de diverso origen: residencial, comercial, industrial, etc. (Republica de Colombia, 1998)
Reducción en el origen	La reducción en el origen esta en segundo lugar en la jerarquía, ya que es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, (Republica de Colombia, 1998)
Aprovechamiento y Valorización	El aprovechamiento implica la separación y recogida de materiales residuales en el lugar de su origen; El aprovechamiento es un factor importante para ayudar a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. (Republica de Colombia, 1998)
Tratamiento y Transformación	La transformación de residuos implica la alteración física, química o biológica de los residuos. Típicamente, las transformaciones físicas, químicas y biológicas que pueden ser aplicadas a los residuos sólidos urbanos son utilizadas para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos. Para los residuos que no puedan ser aprovechados, se utilizarán sistemas de tratamiento para disminuir su peligrosidad y/o cantidad. (Republica de Colombia, 1998)
Disposición final controlada	Por ultimo, hay que hacer algo con los residuos que no tienen ningún uso adicional, la materia residual que queda después de la separación de residuos sólidos en las actividades de recuperación de materiales y la materia residual restante después de la recuperación de productos de conversión o energía, para lo cual se debe garantizar una disposición final controlada, además se debe poseer una capacidad adecuada en los sitios de disposición final y planes para la clausura. (Republica de Colombia, 1998)

Fuente: “Documento aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia”



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



5.2 Las 3r

“Reducir, reutilizar y reciclar, componentes de la regla de las 3R propuesta en la cumbre del G8 de 2004 como estrategia de desarrollo social. Esta idea promueve tres pasos básicos para disminuir la producción de residuos y así contribuir a la protección y conservación del medio ambiente. Además, se conseguiría reducir de manera significativa los residuos urbanos y se podría realizar una gestión de residuos más eficiente. Con ello se pondrían las bases para solventar uno de los grandes problemas ecológicos de la sociedad actual.”

(INECOL, 1975-2021)

- **“La primera erre”:** “reducir”

“Al momento de reorganizar el triángulo ecológico se debe iniciar promoviendo la primera erre, que es la reducción del consumo directamente, donde se habla de promover el consumo consciente, el consumo ambientalizado, el consumo que da cuenta de los costos ambientales tanto como de los netamente económicos: uso adecuado de los automóviles, consumo pertinente de energía en la casa y el trabajo, manejo consciente del agua, etc”.

(INECOL, 1975-2021)

- **“La segunda erre”:** “reutilizar”

“En el método de la reutilización que es la segunda erre es necesario la reubicación como con la primera erre ya que esta permite la reducción del consumo donde se identifica



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



qué hacer con los objetos o mercancías utilizadas. La reutilización puede ser algo más complejo que la “reducción, implica creatividad, consciencia, decisión y actitud”. lo que implica que las metas puedan ser obtenidas con su función primaria.” (INECOL, 1975-2021)

- **“La tercera erre”:** “reciclar”

“Es la más conocida de las 3R, consiste en realizar una correcta gestión de residuos que permita obtener nuevos productos. Así se evita el daño medioambiental que supone su eliminación y se reduce el consumo de nuevas materias primas. Hoy en día, se puede reciclar prácticamente todo, lo que permite generar un menor impacto en el medio ambiente.” (INECOL, 1975-2021)

6. Transformación de residuos solidos

“A continuación, se darán a conocer los principales procesos de transformación que se pueden utilizar para el aprovechamiento de los constituyentes de los residuos sólidos. Las transformaciones, producidas por la intervención del hombre o por procesos naturales, ocurren por medios físicos, químicos y/o biológicos.” (Ambiente, 1997)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



Tabla 2 Procesos de transformación utilizados en la gestión de residuos sólidos

Proceso de transformación	Medio o método de transformación	Productos principales de la conversión o transformación
Físico		
separación de componente	Separación manual y/o mecánica	Componentes individuales encontrados en los residuos urbanos no seleccionados
reducción en volumen	Aplicación de energía en forma de fuerza o presión	Reducción del volumen de los RSU
reducción de tamaño	Aplicación de energía en forma de trituration	Alteración de forma y reducción tamaño
Químico		
combustión	Oxidación térmica	Dióxido de carbono (CO ₂), Dióxido de azufre (SO ₂) y otros productos de Oxidación
pirólisis	Destilación destructiva	Una corriente de gas que contiene una variedad de gases, alquitrán y/o aceite y un combustible carbonoso.
Gasificación combustible	Combustión con defecto de aire	Un gas de bajo poder calorífico, un que contiene carbono e inertes original mente en el combustible, y aceite pirolítico.
Biológico		
Aerobio	Conversión biológica aerobia	Compost (material húmico utilizado como acondicionador de suelo).
Digestión anaerobia (bajo o trazas alto contenido en sólidos)	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH ₄), Dióxido de carbono (CO ₂), de otros gases, humus o fangos digeridos
Compostaje anaerobio	Conversión biológica anaerobia	Metano (CH ₄), Dióxido de carbono

Fuente: “Documento Transformaciones de los residuos solidos”



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



CAPÍTULO 2

LA PIRÓLISIS

1. ¿Qué es la pirólisis?

“La pirólisis es el procesamiento térmico de los residuos sólidos orgánicos en ausencia completa de oxígeno, y que requiere de una fuente externa de combustible para efectuar el proceso, es decir los residuos sólidos orgánicos se descomponen por acción del calor y no existe una combustión de los mismos, teniendo como subproductos del proceso gases, líquidos y sólidos con alto potencial energético. (Tchobanoglous, 1993) define la Pirólisis como aquello en lo que se utiliza una fuente externa de calor que energiza las reacciones pirolíticas endotérmicas en un ambiente libre de oxígeno, mientras los sistemas de gasificación pueden sostenerse a sí mismos y ocurren en presencia de aire u oxígeno.” (Tchobanoglous, 1993)

“Para complementar la información suministrada anteriormente, otro concepto de Pirólisis es que, es un proceso termoquímico que permite transformar la materia orgánica en combustibles útiles, con un alto rendimiento” (Urien, 2013), “este proceso se realiza mediante un calentamiento a temperatura moderadamente alta (350-800 °C) y en ausencia de oxígeno. Por su capacidad de tratamiento, es el método más eficaz para competir con las fuentes de combustibles no renovables.” (Pinedo, 2013). “Debido a que los residuos están



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



compuestos de sustancias orgánicas que resultan ser térmicamente inestables, lo que permite que puedan romperse en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas, mediante una combinación de cracking” (Ambiental, 2018), “el cual es un proceso químico por el cual se quiebran las moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples. En contraste con el proceso de combustión, que es altamente exotérmico, el proceso pirolítico es altamente endotérmico. Por esta razón, a menudo se utiliza el término destilación destructiva como alternativo a Pirólisis.” (Ambiental, 2018) (URBANOS, 2011)

Los rasgos característicos de las tres fracciones de componentes más importantes que resultan de la Pirólisis de los RSU (residuos sólidos urbanos) son: (Ambiental, 2018)

- **Flujo de gas:** “contiene principalmente hidrógeno (H_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), y diversos gases, según las características del material orgánico que se piroliza” (Arbelaez, PIROLISIS RAPIDA , 2014).
- **Flujo de alquitrán y/o aceite:** “que es líquido a temperatura ambiente y contiene sustancias químicas tales como ácido acético, acetona y metanol.” (Arbelaez, PIROLISIS RAPIDA , 2014)
- **Carbonilla:** “que está compuesta de carbono casi puro más cualesquiera de los materiales inertes que han entrado en el proceso: para la celulosa ($C_6 H_{10} O_5$) la



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

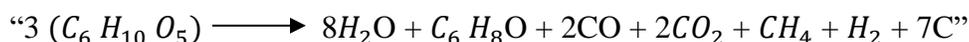


ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



expresión siguiente se ha sugerido como representativa de la reacción de Pirólisis:"

(Vicente, 2008)



“En la ecuación, los compuestos líquidos de alquitrán y/o aceite que se obtienen normalmente están representados por la expresión $C_6 H_8O$.” (URBANOS, 2011)

“La pirolisis tiende a ser un proceso complicado, debido a que la teoría más ampliamente aprobada supone la descomposición del sólido a través de reacciones primarias cuyos productos resultantes pueden degradarse al sufrir reacciones secundarias (como sería el caso del craqueo de volátiles). Las proporciones y características de ambos productos, primarios y secundarios, son función de las condiciones en que se ha llevado a cabo el proceso. Algunas de los aspectos más importantes y relevantes del proceso de Pirólisis, son por ejemplo, que cuando la Pirólisis pretende mejorar la producción de carbón, esta se lleva a cabo muy lentamente con tiempos de reacción de horas o incluso días. Si la reacción transcurre en tiempos no superiores a pocos segundos se favorece el rendimiento en líquidos cuando se combine con temperaturas inferiores a 650° y rápido enfriamiento de los productos generados mientras que, a temperaturas superiores y tiempos de residencia altos, se maximiza la producción de gas.” (Cortes, 1993)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“Desde un punto de vista comparativo de los procesos térmicos, la Pirólisis puede constituirse como un proceso intermedio en relación a la incineración debido a las temperaturas promedio en que se realiza este proceso, 600°C a 900°C; y en cuanto a su aplicabilidad la Pirólisis puede ser aplicada en el procesamiento de residuos sólidos con mayor porcentaje de materiales orgánicos.” (Kaminsky, 1980)

2. Etapas de la pirólisis

Como se ha descrito anteriormente la Pirólisis es un proceso que radica en la descomposición química de los residuos sólidos, causada “por altas temperaturas en un ambiente que no contiene O”, es por esta razón que se pueden considerar tres etapas en el transcurso de este proceso, las cuales se describen a continuación (Luengo, 2018):

- **Etapas 1:** “Esta primera etapa ocurre entre la temperatura ambiente la cual está entre el rango de 20-25°C y 180°C. en esta etapa los residuos absorben el calor, liberando la humedad en forma de vapor de agua. Entre 110 y 180 °C ocurren reacciones de deshidratación que involucran los grupos -OH presentes en las moléculas de los polisacáridos.” (Luengo, 2018)
- **Etapas 2:** “Esta etapa ocurre entre 180°C y 370°C, en esta etapa a partir de los 250 °C, las reacciones que absorbían calor (endotérmicas) pasan a liberarlo (exotérmicas) y a los 290 °C es alcanzada la máxima tasa de degradación de la hemicelulosa. Entre 290 y 370 °C ocurre la total degradación de la celulosa, cuya



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



tasa máxima es alcanzada a 370 °C.” (BARAY-GUERRERO, 2019) “en esa fase ocurre la ruptura de los ligamentos glicosídicos de los polisacáridos, dando lugar a una gran emisión de volátiles, compuestos por vapores orgánicos y altas concentraciones de CO, H₂, CH₄ y CO₂, verificándose una gran formación de ácido acético, metanol y acetona. El alquitrán comienza a volverse predominante con el aumento de la temperatura.” (BARAY-GUERRERO, 2019)

- **Etapas 3:** “Esta tercera etapa se desarrolla por encima de los 370 °C, cuando se completa la degradación de la lignina, que es responsable por la formación de cerca de un 50% del carbono fijo del material sólido.” (Luengo, 2018)

3. Tipos de pirólisis

Basados en algunas variables importantes que permiten el buen desarrollo del tratamiento de la “pirólisis” como lo son: “la temperatura y la velocidad de calentamiento” ya que estas variables usualmente utilizadas para identificar este proceso, y las cuales son difíciles de definir (Wild, 2010).

“La pirólisis” se subdivide en “pirólisis rápida, pirólisis intermedia, torrefacción y carbonización hidrotermal” las cuales se enseñan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3 Tipos de pirólisis



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tipo	Condiciones	Líquido	Sólido	Gas
Rápida	Temperatura del reactor 500°C. Tasas de calentamiento altas > 1000°C/s Tiempos de residencia cortos - 1s	75%	12%	13%
Intermedia	Temperatura del reactor 400-500 °C Tasas de calentamiento de 1-1000 °C/s Tiempos de residencia cortos - 1-10s	50%	25%	25%
Torrefacción	Temperatura del reactor 290°C Tasas de calentamiento de 1°C/s Tiempos de residencia 30 min	0-5%	77%	23%
Carbonización	Temperatura del reactor 400-500°C	30%	35%	35%
Hidrotermal (HTC)	Tasas de calentamiento 1°C/S Tiempos de residencia largos			

Fuente: Libro de “Pirólisis rápida de biomasa”



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

3.1 Pirólisis rápida

“Durante muchos años la Pirólisis rápida o convencional ha sido considerada la más usada por distintas industrias, ya que es un proceso de temperaturas altas en donde los residuos sólidos “(con humedad < 10%)” se calientan rápidamente. Los residuos se descomponen generando “gases y producto carbonizado en menor cantidad”. Gracias a su “velocidad de enfriamiento” y “la condensación de los vapores y aerosoles”, se obtiene un producto líquido de color oscuro con un dominio más o menos igual a la mitad del aceite combustible tradicional, el cual se usa en muchas aplicaciones como las que se indican a continuación.” (Arbelaez, PIROLISIS RAPIDA , 2014)

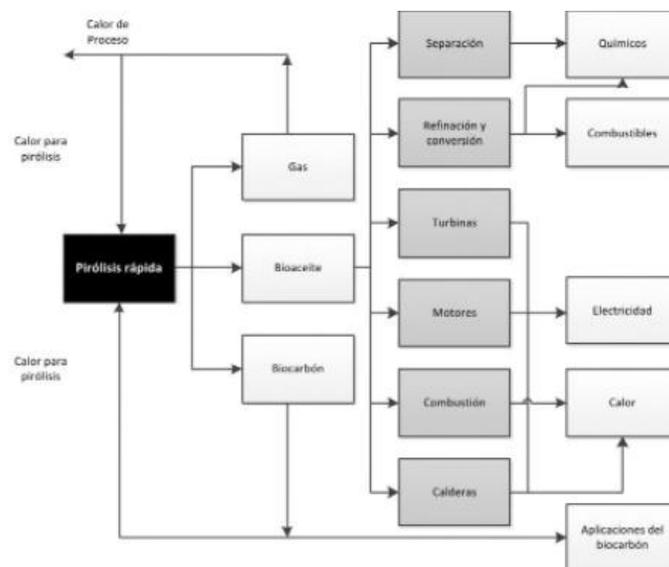


Ilustración 2 “Aplicaciones de los productos de la pirólisis rápida”

Fuente: Libro “pirólisis rápida de biomasa”



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“Los resultados de este proceso arrojan los siguiente: “se produce entre 60-75% de producto líquido, 15-25% de sólidos, y 10-20% de gases no condensables”, (Hector felipe hernandez morales, 2017) dependiendo del “tipo de residuos que se haya escogido, la temperatura, la velocidad de calentamiento el tamaño de partícula del residuo, la configuración del reactor y la presencia de catalizadores”. Durante este proceso no se generan residuos de bioaceite y char.” (Hector felipe hernandez morales, 2017)

3.1.1 Factores que afectan la pirólisis rápida

“Existen cuatro particularidades sustanciales que se deben de tener en cuenta durante el desarrollo del proceso de Pirólisis rápida. Como primera medida se tienen las “altas velocidades de calentamiento y las tasas de transferencia de calor”, continuamos con la temperatura a la reacción, frecuentemente en el rango de 425-500 °C. En tercer lugar, se encuentra los tiempos de residencia cortos (<2 s). Y, por último, pero no menos importante se tiene la “velocidad de enfriamiento de los vapores y los aerosoles de la pirólisis”, los cuales permitirán la producción del bioaceite.” (Hoekstra, 1984) (Czernik, 2002) (Mohan, 2006).

3.1.2 Tecnologías para el proceso de pirólisis rápida

Según un estudio se logró identificar las circunstancias óptimas que permitan obtener “el máximo porcentaje de líquidos pirolíticos”, esto encaminado al uso de distintas fuentes



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



tecnológicas que permitan “el desarrollo y aplicación a nivel industrial y comercial de la pirólisis rápida”. A continuación, se presentará una tabla en donde se mostrarán las tecnologías más comunes para Pirólisis rápida:



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tabla 4 Tecnologías más comunes en el proceso de Pirólisis rápida

Tecnología	Nombre proyecto a escala industrial	Unidades construidas	Máx. cap. Kg/h	Nombre del proyecto a escala investigación	Máx. cap. Kg/h
Lecho fluidizado	Agritherm, Canada	2	200	Adelaide U, Australia	1
	Biomass Engineering Ltd, Reino Unido	1	200	Aston U., Reino Unido	5
	Dynamotive, Canada	4	8000	Cirad, Francia	2
	RTI, Canada	5	20	Curtin U, Australia	2
				ECN, NL	1
				East China U. Science and Technology, Shanghai, China	nr
				Gent U., Bélgica	0,3
				Guangzou Inst, China	10
				Harbin Institute of Technology	nr
				Iowa State U., EEUU	6
				Monash U. Australia	1
				NREL, EEUU	10
				PNNL, EEUU	1
				Shandong U. Technology nk	nr
				Shanghai JiaoTong U	1
				Shenyang U., China	1
				South East U., China	1
				Texas A&M U., EEUU	42
				TNO, Holanda	10
				U. Basque Country, España	nr



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tecnología	Nombre proyecto a escala industrial	Unidades construidas	Máx. cap. Kg/h	Nombre del proyecto a escala investigación	Máx. cap. Kg/h
				U. Campinas, Brasil	100
				U. Maine, EEUU	0,1
				U. Melbourne, Australia	0,1
				U. Nacional de Colombia - Sede Medellín	2
				U. Nápoles, Italia	1
				U. Science and Technology of China	650
				U. Seoul, Corea	nr
				U. Twente, Holanda	1
				U. Western Ontario, Canada	nr
				U. Zaragoza, España	nr
				USDA, ARS, ERRC, EEUU	1
				Virginia Tech. U., EEUU	0,1
				VTT, Finlandia	1
				vTI, Alemania	6
				Zhejiang U., China	3
				Zhengzhou U., China	2
Lecho fluidizado con pico	Ikerlan, España	1	10	Anhui U. of Science & Technology, China	5
				U. Basque Country, España	nk
Transportado	Ensyn, Canadá		4000	CPERI, Grecia	1



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tecnología	Nombre proyecto a escala industrial	Unidades construidas	Máx. cap. Kg/h	Nombre del proyecto a escala investigación	Máx. cap. Kg/h
fijo & CFB	Metso/UPM,		400	Guangzhou Inst. Energy.	nr
				Finlandia	
				Conversion, China	
				U. Birmingham, Reino Unido	nr
				U. Nottingham, Reino Unido	nr
				VTT, Finlandia	20
Cono rotatorio	BTG, Holanda		2000	BTG, Holanda	10
Pirólisis catalítica integral	BioEcon, Netherlands + Kior EEUU		nk	Battelle Columbus, EEUU	1
				PNNL, EEUU	1
				Technical U. of Munich	nr
				U. Massachusetts - Amhurst, EEUU	nr
				Vierginia Tech U., EEUU	3
				TNO, Holanda	30
				Technical U. Dinamarca	nr
Reactor torbellino centrífugo ablativo	Pytec, Alemania		250	Aston U., Reino UNIDO	20
				Institute of Engineering Thermophysics, Ucrania	15
				Latvian State Institute, Latvia	0,15
				Technical U. Dinamarca	1,5



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tecnología	Nombre proyecto a escala industrial	Unidades construidas	Máx. cap. Kg/h	Nombre del proyecto a escala investigación	Máx. cap. Kg/h
Taladro o tornillo	Abritech, Canadá	4	2083	Auburn U. EEUU	1
	Lurgi LR, Germany	1	500	KIT (FZK), Alemania	500
	Renewable oil Intl, EEUU	4	200	Mississippi State U., EEUU	2
				Michigan State U. EEUU	0,5
				Texas A&M U., EEUU	30
Convección-radiación				CNRS - Nancy U., Francia	nr
				Dallan U. of Technology, China	nr
Flujo de arrastre				Institute for Wood Chemistry, Latvia	nr
				Shandong University of Technology	0,05
				Chinese Academy of Sciencies	nr
Microonda	Carbonscape Nueva Zelanda	nr	nr	Dalian 116023, P.R. China	nr
	Reino Unido	- 1	nr		<0,1
	Bionergy 2020 gmbh, Austria	+		National Inst. Advanced Industrial Scl. & Technol, Japón	<0,1
				Shandong U. China	nr
				Technical U. Vienna, Austria	<0,1
				U. Malaysia Sarawak	10



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Tecnología	Nombre proyecto a escala industrial	Unidades construidas	Máx. cap. Kg/h	Nombre del proyecto a escala investigación	Máx. cap. Kg/h
				U. Minnesota, EEUU U. Mississippi U. Nottingham, Reino Unido y China U. York, Reino Unido Washington State U. -Tricities, EEUU	nr nr nr <1 nr
Lecho en movimiento	Anhui Yineng Bio-energy Ltd, China	3	600	Anadolu University, Turkia	nr
lecho fijo				U. Autónoma de Barcelona, España U. Science & Technology of China	0,5 110
Ceramic ball				Shandong University of Technology, China	
Downflow				U. Kentucky, EEUU	nr
Sin especificar				U. Texas, EEUU Technical U. Compegne, Francia	nr nr
Vacío	Pyrovac, Canadá	1	3500		

Fuente: Libro Pirólisis rápida de Biomasa



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3.1.3 Reactores Pirolíticos

“Primero que todo definiremos Reactor, el cual es un motor que funciona mediante la expulsión a gran velocidad de gases producto de un proceso de combustión como la Pirólisis. Es por esta razón que dentro de la Pirólisis rápida se pueden determinar los principales reactores que permiten el buen desarrollo de esta, estos son los de lecho fluidizado, lecho fijo, Lecho circulante, por abrasión, al vacío, y conos rotatorios. (Ringer, PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA, 2006) (Demirbas, 2010)). A continuación, se explicarán cada uno de estos reactores. La caracterización de cada uno depende de muchos factores, entre ellos, el tiempo de residencia, el tipo de contacto entre la muestra a degradar (directo - indirecto), el catalizador o las cinéticas de reacción, incidiendo en mayor o menor medida sobre los resultados obtenidos.” (Demirbas, 2010)

3.1.3.1 Reactor de lecho fijo

“Los reactores el lecho fijo son el tipo de pirolizador más usado en la antigüedad y es maniobrado por lotes, en este el calor es fundamental para lograr el objetivo de “pirólisis” es provisto por una fuente ajena al proceso que permita la incineración de los residuos sólidos. En la mayoría de situaciones, es necesario el uso de un gas que transporte y logre de manera eficaz la salida de gases mientras que el producto carbonizado permanecerá en el reactor. Dentro de las características de este reactor se encuentran “velocidades de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

calentamiento bajas y tiempos de residencia altos”, lo que permite que se lleve a cabo una mayor producción de char o bioaceite.” (Basu, 2010).

En la ilustración 4 se muestra el “esquema de un pirolizador de lecho fijo”. (Basu, 2010)

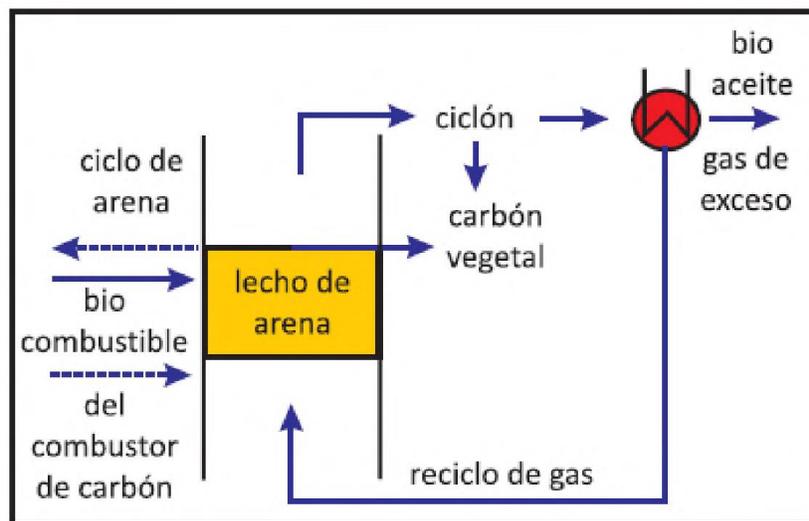


Ilustración 3 Esquema que ilustra un reactor de lecho fijo usado en el proceso de Pirólisis rápida

Fuente: Libro Pirólisis rápida de biomasa

“Este equipo es manipulado ampliamente en muchas reacciones catalíticas heterogéneas. Sin embargo, presenta desventajas asociadas a las reacciones de pirólisis de residuos orgánicos.” (Basu, 2010).



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3.1.3.2 Reactores De Lecho Fluidizado

“A diferencia del reactor de lecho fijo, en el que el flujo de reactivos no provoca movimiento de sólidos, en el reactor de lecho fluidizado existe un flujo ascendente que hace que las partículas del lecho se dispersen mejorando tremendamente la transferencia de calor y de masa en su volumen de reacción ((Posada, 2007); (Arauzo, 2014); (Ángel, 2013)). Justamente, la facilidad relativa en la que se dan estos fenómenos, es la ventaja clave que tiene este equipo frente al lecho fijo, manifestándose como una alternativa atractiva desde un punto de vista industrial, puesto que permite la operación en continuo de la pirólisis, sin necesidad de conllevar los problemas del lecho fijo que hacían dificultoso su escalamiento. Este tipo de equipos se caracteriza por tener un lecho que se moverá cuando el peso aparente de sus partículas sea igual o menor a la fuerza de arrastre originada por la velocidad del flujo del gas portador. En ese sentido, toma relevancia el factor de la velocidad de fluidización, parámetro clave que determinará la distribución de tiempos de residencia de los productos obtenidos en el reactor.” (Ángel, 2013)

Según sus características se recalcan por usarse pródigamente a “nivel de industria tanto de procesos químicos como de petróleo desde hace 50 años aproximadamente”. Las variables muestran el diseño de estos reactores y son principalmente “tiempo de residencia, el flujo de gas para su arrastre, la velocidad de calentamiento, el tamaño de partícula, entre otras”.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Las indagaciones han demostrado hoy por hoy que son reactores que tienen un alto interés de transformación de residuos sólidos, conociendo principalmente que los “tiempos de residencia oscilan entre (0.5-2)segundos, el tamaño de la partícula se determina que sea menor a 2.3 mm y los mecanismos de traspaso de calor son convección con 4% por fluido de traslado a altas temperaturas, conducción a través de serpentines y chaqueta con 94% y un 1 % de radiación” ((Ringer, 2006); (Demirbas, 2010)).

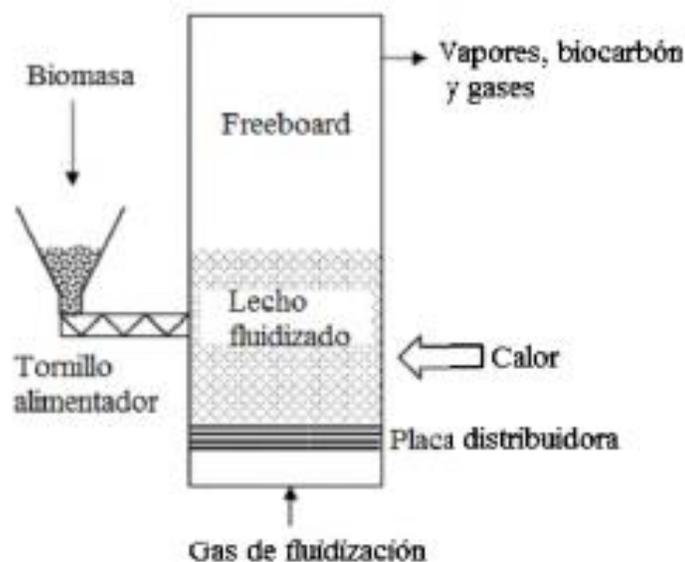


Ilustración 4 “Esquema de reactor de pirólisis rápida en lecho fluidizado”

Fuente: libro de “Pirólisis rápida de biomasa”

3.1.3.3 Reactor de lecho circulante

“Los reactores de lecho fluidizado cuya característica más distintiva es la recirculación de partículas de carbón y biomasa no convertida después del proceso de pirólisis y separadas en el ciclo posterior al reactor, estas partículas son llevadas a un voraz quemador para fructificar su densidad energética. Los reactores que presentan características de recirculación del lecho ofrecen altas tasas de traspaso de calor, operando con partículas de un tamaño de (6 mm) y pueden alcanzar grandes extensiones” (Ringer, 2006).

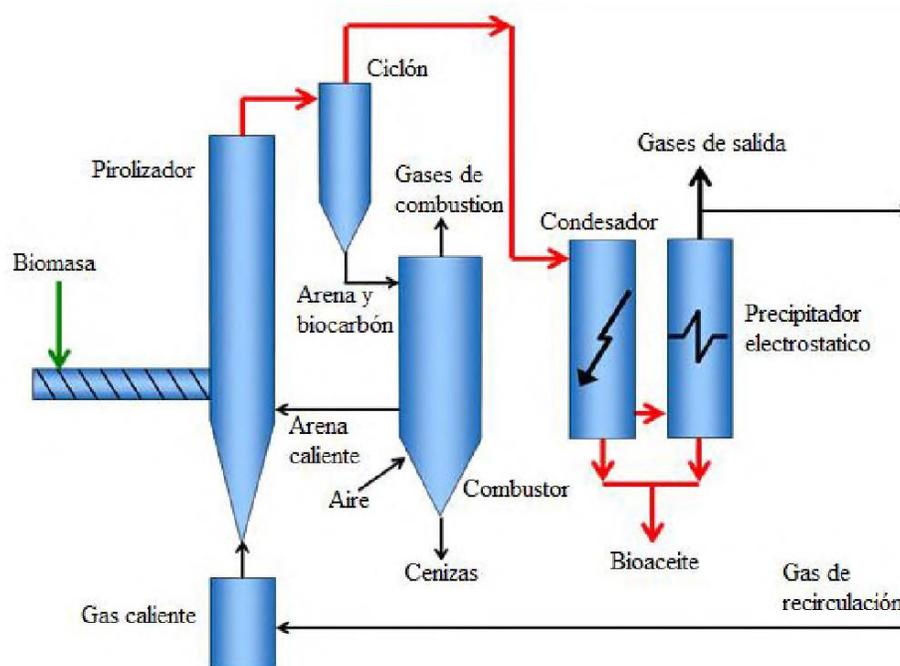


Ilustración 5. Reactor de pirólisis rápida en lecho circulante.

Fuente: Libro Pirólisis Rápida de Biomasa

3.1.3.4 Reactores De Abrasión

La pirólisis dada por la abrasión, crea “una presión entre cada de las partículas de los residuos y las tapias calientes del reactor, suministrando altas velocidades de calentamiento de la partícula, lo que lleva que esto esté ocasionando la producción de líquidos pirolíticos”. “La presión entre los residuos y las paredes del reactor es creada por medios mecánicos o por fuerza centrífuga”. En la universidad de ASTON UK, se ha implementado esta tecnología, “el concepto de proceso se ha desarrollado con éxito a 3 kg / h y los rendimientos de aceite de hasta 80% en peso en base seca”. (MONTROYA & CHEJNE-JANNA, 2015)

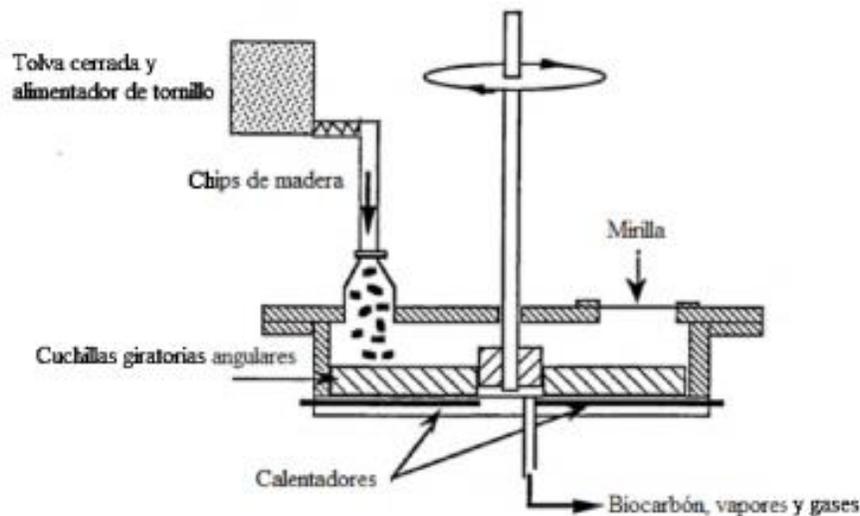


Ilustración 6. “Reactor de abrasión para pirólisis rápida”

Fuente: Libro “Pirólisis rápida de biomasa”

3.1.3.5 Reactor cono rotatorio.

“En este reactor de cono rotatorio se muestran partículas de los residuos las cuales son alimentadas al fondo de un cono que con ellas se verifica el exceso de partículas calientes que permiten el arrastre. “La fuerza centrífuga obliga a la partícula a estar contra las paredes calientes del reactor, obteniendo altas velocidades de calentamiento, cortos tiempos de residencia y rendimientos de líquido entre el 60 y 70%” (Basu, 2010).

“Entre las ventajas de este reactor se encuentran principalmente que no requiere fluido de arrastre y tampoco necesita el aprovechamiento en el movimiento de las partículas para mejorar el paso del calor hacia las mismas; presenta desventajas como son las dificultades para su sistema de operación, envolviendo incluso problemas de combustión.” (Bridgwater, 1999)

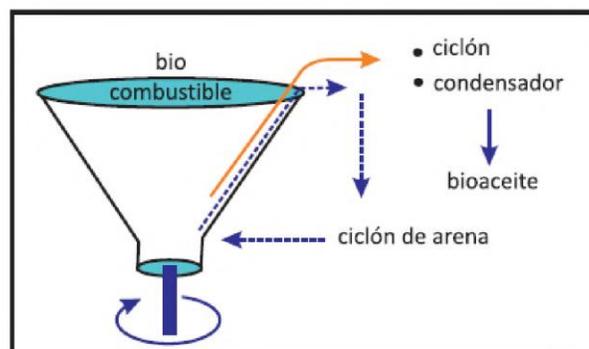


Ilustración 7 “Esquema de un reactor de cono rotatorio para pirólisis rápida.”

Fuente: Libro “Pirólisis rápida de Biomasa” (Rivera, 2012)



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3.2 Pirólisis Intermedia

“Varios estudios han demostrado que en la Pirólisis intermedia se producen cantidades grandes de bio-oil, se reportan hasta un máximo del 55 % a 400- 500 °C, resultado que varía con los parámetros del proceso: temperatura, velocidad de calentamiento, presión, composición química de la biomasa y tamaño de partícula de la misma. Este tipo de pirólisis también produce el bio-char y biogás en menores proporciones, y el rendimiento del bio-gas aumenta a medida que disminuye el rendimiento de bio-char.” ((Dias, 2017); (Demirbas, 2010)).

“En la pirólisis intermedia, los rendimientos de los tres productos se ven directamente afectados por el tamaño de partícula de materia prima. A medida que aumenta el tamaño de partícula, la velocidad de transferencia de calor disminuye, lo cual aumenta el rendimiento de bio-char y disminuye el rendimiento de bio-oil y bio-gas. El tamaño de partícula más pequeño mitiga las limitaciones internas de transferencia de calor y mejora el rendimiento del bio-oil.” (Natalia Afanasjeva, 2018)

“La pirólisis intermedia ha alcanzado un éxito comercial para la producción de unas sustancias químicas y el proceso está siendo desarrollado para la producción de combustibles líquidos. En comparación con la Pirólisis rápida o flash, los bienes líquidos derivados de la pirólisis intermedia tienen un bajo rendimiento de bio-oil y viscosidad baja. En la pirólisis intermedia las reacciones químicas pueden ser más controladas y, por lo



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



tanto, las condiciones de reacción en esta técnica ofrecen una amplia gama de variaciones para la optimización del proceso.” (Natalia Afanasjeva, 2018)

“La pirólisis intermedia opera a una temperatura similar a la de la pirólisis flash, entre 400-500°C, pero con tiempos de residencia más grandes: 10 a 20 segundos. Por otra parte, la pirólisis a baja temperatura es el proceso más antiguo y se utiliza principalmente para la producción de carbón vegetal. La temperatura final de la reacción es inferior a 600°C, y la lenta cinética obtenida por el uso de una granulometría de mayor diámetro conducen a un tiempo de residencia importante, de varias horas o incluso días.” (Montoya, 2014)

“Por otra parte, la Pirólisis intermedia ocurre a condiciones de reacción entre lenta y rápida, incluyendo temperaturas moderadas por encima de los 500 °C y moderados tiempos de residencia.” (Demirbas, 2010)

3.3 Torrefacción

La torrefacción “es un método térmico que transmuta los residuos en un sólido con mayor densidad energética, más fácil de triturar, en este proceso se considera que los residuos se secan y se desvolatilizan parcialmente, reduciendo su masa pero aun manteniendo su contenido energético, esto se realiza a tasas de calentamiento y temperaturas muy bajas (200-300°C)” (Basu, 2010).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“La torrefacción es un pretratamiento termoquímico mediante el cual la estructura original de los residuos se destruye parcialmente por la ruptura de las moléculas de hemicelulosa, celulosa y en menor grado la lignina. El material sólido que resulta de este pretratamiento es generalmente hidrofóbico, bio-resistente y fácil de moler, mientras que la fracción volátil contiene ácidos carboxílicos, agua y gases permanentes (CO, CO₂). Con, la remoción de esta fracción orgánica, se elimina gran parte del oxígeno de los residuos, por lo que el poder calorífico del sólido se incrementa (19 – 23MJ/kg) a expensas de una reducción en el peso (densificación energética). A continuación, se describen los aspectos generales del proceso utilizando los reportes más recientes de la literatura.” (Montoya, 2014)

“La torrefacción es una pirólisis tenue mediante la cual los residuos se ponen en contacto con un medio de calentamiento que eleva su temperatura gradualmente (160°C). En el rango de 120 - 150°C se inicia la ruptura de los enlaces –H– y –C– y la producción de polímeros de cadena corta que condensan en el interior de los poros. Sobre los 150 – 270°C comienzan a generarse: CO₂, ácidos carboxílicos, fenol, furfural, metanol entre otros compuestos orgánicos, principalmente por la despolimerización de la hemicelulosa, la liberación de grupos carbonilos y carboxilos de la celulosa y los anillos aromáticos en la lignina. A medida que transcurre el proceso, la biomasa va cambiando de color y sus propiedades se asemejan al carbón. El consumo de calor y la pérdida de masa más intensos ocurren en las primeras etapas del proceso (secado físico + post-secado).” (Dias, 2017)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3.3.1 Proceso De Torrefacción

“Los procesos de torrefacción varían según el tipo de reactor utilizado y el grado de integración energética. La mayoría de estos han sido desarrollados sobre la base de tecnologías existentes (secado) y los retos fundamentales en relación a las tecnologías están básicamente en:” (Montoya, 2014)

- “Procesar materiales de diferentes propiedades y granulometrías” (Meilyn González Cortés, 2014)
- “Integrar energéticamente el proceso” (Meilyn González Cortés, 2014)
- “Recuperar y tratar los efluentes gaseosos y líquidos generados durante la descomposición de los residuos.” (Meilyn González Cortés, 2014)

3.3.1.1 Reactores De Torrefacción

“Los reactores para torrefacción se clasifican, según el método de contacto entre el sólido y el medio de calentamiento, en reactores de contacto directo o indirecto. La fase fluida, el mecanismo de transferencia de calor y el movimiento de los residuos, son las características que distinguen los diferentes equipos. (Nhuchen, 2014). A continuación, se presentará una tabla en donde se encontrarán detallados los diferentes modelos y diseños de reactores usados en la torrefacción.” (Nhuchen, 2014)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

Tabla 5 Modelos de reactores para torrefacción

REACTOR	VENTAJAS	LIMITACIONES
Tambor rotatorio	Simple Baja caída de presión Operación en contacto directo o indirecto	Mala transferencia de calor Difícil control de temperatura Mayor tamaño/capacidad Difícil escalado
Lecho móvil	Simple operación y construcción Alta densidad de lecho Elevada transferencia de calor	Alta caída de presión Difícil control de temperatura
Tornillo	Posibilidad de flujo en pistón Tecnología madura	Calentamiento indirecto Baja capacidad de transferencia de calor Difícil escalado
Hogares Múltiples	Diseño probado Fácil escalado Facilidad para el control del tiempo de residencia y la temperatura	Reactores de gran tamaño Difícil escalado
Lecho fluidizado	Eficiencia para transferencia de calor Escalable	Requiere partículas de pequeño diámetro Requerimiento adicional de gas para fluidización

Fuente: Documento Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica



3.3.1.2 Implementación De La Torrefacción

“A continuación, se presentará una tabla en donde se encontrará de manera cronológica la información acerca de las distintas industrias que han implementado el proceso de torrefacción y en las cuales ha tenido mayor relevancia e impacto.” (Bioresour, 2014)

Tabla 6 Implementación del proceso de torrefacción

AUTORES/AÑO	DESCRIPCIÓN BREVE	COMPANÍA/ID
Christopher Hopkins, Rucker Preston/2009	Proceso autotérmico de torrefacción por contacto indirecto en un sistema anular. Los volátiles se queman externamente. Los problemas principales están en la homogeneidad del producto y la operación con astillas.	North Carolina State University/ US9304590 B2
Vitaly Lvovich /2011	Sistema de torrefacción por microondas para obtener sólido torrefactado y L-glucosa. Proceso caro y de baja integración térmica.	University of York/ US021967 9 A1
William B. Teal, Richard J. Gobel/2012	Proceso que incluye secador y reactor rotatorios. Utiliza un sistema de contacto directo gas-partículas y no concibe integración energética.	Teal Sales Inc./ US 8252966 B2
Gershon Ben-Tovim/2012	La invención incluye un reactor tipo tambor rotatorio con calentamiento externo. Se utiliza un gas inerte para crear atmósfera libre de oxígeno en el interior del reactor.	US0261246
Andrew Eyer/2013	Reactor multietapas donde la biomasa lignocelulósica fluye en treestados (bandejas) desde el tope al fondo. El medio de torrefacción es un gas inerte a 3 bar, 200 °C y tiempo entre 15 - 60 minutos.	AndritzInc/ US0098751A1
Ingemar Olofsson/2014	Sistema de torrefacción para biomasa previamente seca. Los gases fluyen a contracorriente con la biomasa y se inyecta oxígeno para quemar la fracción combustible de los volátiles. La invención considera la gasificación del material torrefactado para producir gas de síntesis.	BIOENDEV AV/ US0208995A1
Rautalinen, Erkki /2014	Proceso para producir biomasa torrefactada compacta. El proceso implica pretratamiento y el uso de combustibles externos. No tiene integración energética ni recuperación térmica de los volátiles.	Diacarbon Technologies Inc/ WO165995A 1
Duane Morris/2010	Reporta métodos y sistemas para la torrefacción de biomasa lignocelulósica utilizando vapor sobrecalentado a 482°C. Destaca la posibilidad de desarrollar integración energética y no reporta dificultades con la producción de alquitranes.	Terra green energy/ US0242351A 1

Fuente: Documento Procesos de torrefacción



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

3.3.1.3 Parámetros Operacionales

“A continuación, se presentarán los parámetros operacionales con controlan el proceso de torrefacción.” (Bioresour, 2014)

- **Temperatura**

“La temperatura es el principal parámetro de diseño en la torrefacción pues define la degradación térmica alcanzada. En la media que se incrementa la temperatura, el rendimiento en masa y energético decrecen, y se obtienen mayores densidades energéticas en el producto sólido.” (Bioresour, 2014)

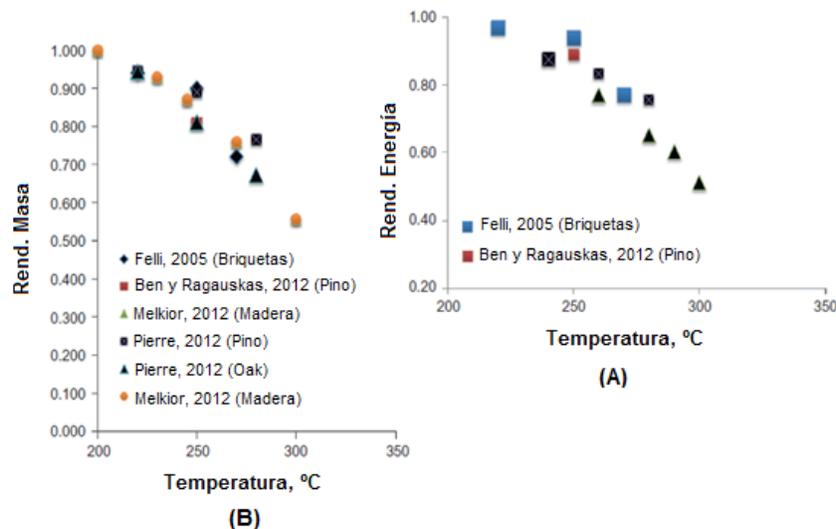


Ilustración 8 “Efecto de la temperatura en el proceso de torrefacción”

Fuente: Documento “Procesos de torrefacción”



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- ***Tiempo de residencia***

“El tiempo de residencia en el reactor también afecta la descomposición térmica de los residuos. La velocidad de calentamiento es por lo general inferior a 50°C/min. Este parámetro es la característica que distingue la torrefacción de la pirólisis. Mayores tiempos de residencia dan menores rendimientos en masa y energía. Sin embargo, su efecto es notablemente inferior al que produce la temperatura y se ve incluso disminuido cuando el tratamiento se extiende por más de una hora.” (Bioresour, 2014)

- ***Tipo de residuo***

“Como la fracción de hemicelulosa es la que se degrada en mayor medida durante la torrefacción, las características del polímero y su estructura, definen la composición de los productos. Es incluso interesante apreciar cómo, maderas duras y blandas con contenido de hemicelulosa similares que se someten a torrefacción en condiciones similares, tienen diferentes rendimientos máxicos y energéticos.” (Bioresour, 2014)

- ***Tamaño de partícula***

“Las resistencias a la transferencia de calor y masa son funciones del tamaño y forma de las partículas de madera, por lo que el control de esta variable es fundamental para controlar los procesos de secado y torrefacción. Este parámetro tiene mayor influencia a diámetros de partículas grandes.” (Bioresour, 2014)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3.4 Carbonización hidrotermal

La carbonización hidrotermal (hydrothermal carbonization, HTC), “es un proceso en el cual la materia orgánica se descompone bajo la influencia de la temperatura en presencia de agua. El agua se encuentra a una temperatura por encima de su punto de ebullición y la presión del sistema es autógena. Simula la formación natural de carbón a escala de laboratorio, y fue Bergius, en torno a 1913 quien introdujo este nuevo concepto.” (Bergius, 2012)

“La HTC es un proceso exotérmico capaz de reducir la cantidad de oxígeno e hidrógeno del carbón generado respecto de la alimentación de partida. La reacción que se lleva a cabo en el proceso de HTC es la siguiente”:



“Existen diferentes técnicas para llevar a cabo el proceso de carbonización hidrotermal en destino de la temperatura empleada ya que el tiempo de residencia transfiera el calor a la alimentación. También dependerá de la distribución de los productos en las tres fases, gaseosa, líquida y sólida.” (Bergius, 2012)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“La HTC comprende etapas de hidrólisis de los residuos formando moléculas más pequeñas, deshidratación y condensación o polimerización. Las condiciones de reacción que se emplean en el proceso de HTC son suaves, con temperaturas entre 180 hasta 250 °C y tiempos de reacción de varias horas. Las presiones del sistema son autógenas, sin necesidad de introducir presión adicional. Tiempos de reacción muy largos favorecen la formación de productos gaseosos y la cantidad de carbono procedente de HTC se ve disminuida. Por otro lado, la densidad energética del carbono aumenta conforme aumenta las condiciones severas de reacción.” (Basu, 2010)

“A su vez, los residuos procedentes de materiales lignocelulósicos suelen poseer un contenido de agua de entorno al 40%. Los procesos térmicos tradicionales incluyen un pretratamiento inicial de la muestra para modificar el contenido de agua de los residuos. Sin embargo, el proceso de HTC no requiere este tipo de pretratamiento. A diferencia entre los otros métodos químico-térmicos, la carbonización tampoco requiere otros pretratamientos de los residuos como por ejemplo el tamizado, control de densidad u otros tratamientos para mejorar el manipulado de las muestras. El carbón procedente de HTC es fácilmente manipulable, estable y no tóxico.” (Bergius, 2012)

“Otra de las ventajas que presenta el HTC es que no genera emisiones y evita que los residuos empleados como alimentación generen dichas emisiones debido a la fermentación natural implicando manifestaciones de gases de efecto invernadero a su atmósfera. Las



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



partículas del carbón obtenido en partir del proceso HTC tienen forma esférica y son de un tamaño de micrómetros. Los átomos de carbono tienen una hibridación sp^2 lo que le confiere ese aspecto negro característico. Pueden poseer grupos funcionales oxigenados derivados de los carbohidratos originales. La presencia de dichos grupos funcionales hace factible la formación de materiales más hidrófilos y que presenten alta dispersión en el agua. El tamaño final de las partículas dependerá del tiempo de carbonización, así como de la concentración de la biomasa empleada en la autoclave. Por otro lado, se sabe que la presencia de iones metálicos puede acelerar el proceso de HTC, disminuyendo considerablemente los tiempos de reacción. Una Tonelada de carbón obtenido vía HTC evita entrar a 2.2 Toneladas de CO_2 a la atmósfera.” (Bergius, 2012)

4. Reacciones de pirólisis

“La Pirólisis puede ser considerada como un proceso uniforme, debido a que distintos materiales son transformados en fracciones (carbón, líquidos y gases) de características similares. (Col, 1984) han estudiado los productos de la Pirólisis de los componentes mayoritarios de los RSU. Mediante espectrometría de masas encontrando, para cada uno de ellos, un espectro característico. La superposición de todos se asemeja, en gran medida, al espectro resultante de la Pirólisis de RSU. A continuación, se esbozarán los procesos de Pirólisis para los compuestos mayoritarios.” (Col, 1984)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.1 Pirólisis de residuos lignocelulósicos

“La descomposición térmica de los materiales lignocelulósicos tiene lugar a través de una compleja serie de reacciones químicas unidas a procesos de transferencia de masa y calor lo que hace que resulte muy difícil establecer un mecanismo de Pirólisis claro y conciso.” (Cortes, 1993)

4.1.1 Pirólisis de hemicelulosas

“De los componentes principales de los materiales lignocelulósicos: “celulosa, lignina y hemicelulosas”, estas últimas son las más débiles al contacto con la temperatura ya que se descomponen en el rango de 200 a 260 °C por otro lado las hemicelulosas son amorfas y producen un grado bajo en el sistema de polimerización.” (Cortes, 1993)

4.1.1.1 Pirólisis de celulosa

“Son muchos los estudios realizados sobre el mecanismo de Pirólisis de la celulosa. En oposición a las hemicelulosas, el componente celulósico es el mismo en todos los tipos de biomasa.” (Col, 1984)

“Se propuso una secuencia de reacciones sufridas por la celulosa cuando esta se calienta”: (Broido, 1965)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



1. “Deshidratación: sucede en el rango de temperatura de 200-280 °C”, “deshidrocelulosa””.
2. “A 280 °C, la reacción de despolimerización compite por la celulosa residual, dando como resultado un producto alquitranado.”
3. “Descomposición de “deshidrocelulosa” dando como resultado una o varias reacciones.”

4.1.1.2 Pirólisis de lignina

“La pirólisis de la lignina, componente térmicamente más estable, da lugar a compuestos aromáticos y más carbón que la celulosa. La diversidad de los productos obtenidos, refleja la complejidad de las moléculas de lignina, polímero de red tridimensional, formado a partir de unidades de fenilpropano.” (Col, 1984)

4.1.2 Pirólisis de plásticos y cauchos

“En general, se puede decir que las reacciones de Pirólisis de plásticos y cauchos, suponen ruptura y recombinaciones de enlaces C-c en cualquier lugar de la molécula, obteniéndose una mezcla compleja de parafinas y olefinas menores, así como hidrocarburos aromáticos. Sin embargo, no todos los polímeros siguen la misma vía de descomposición.” (Cortes, 1993)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“Igual que en los plásticos, la degradación térmica de los cauchos se produce por rotura de enlace C-C, pudiendo ir o no acompañado de transferencia de hidrogeno (Madorsky, 1964). La Pirólisis de cauchos a 750 C, en un reactor de lecho fluidizado, a nivel de planta piloto, produce metano (15,1%), etileno (4.0%) y benceno (4.0%) como compuestos mayoritarios.” (Kaminsky, 1980)

“La fracción de alquitrán obtenida por Pirólisis de estos materiales (plásticos y cauchos), se caracteriza por un alto rendimiento en hidrocarburos de peso molecular alto y aromáticos, destacando benceno y tolueno como mayoritarios y xileno, indano, indano, naftaleno, fenantreno en cantidades menores.” (Kaminsky, 1980).

4.1.3 Pirólisis de grasas y proteínas

“La Pirólisis de grasas y proteínas da lugar, al igual que la descomposición de plásticos y cauchos, a hidrocarburos alifáticos y aromáticos (propileno, propano, naftaleno). Además de estos compuestos, se generan también agua, metanol, acetaldehído, oxido de carbono y pequeñas cantidades de compuestos nitrogenados como acetonitrilo y propionitrilo.” (Kaminsky, 1980).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

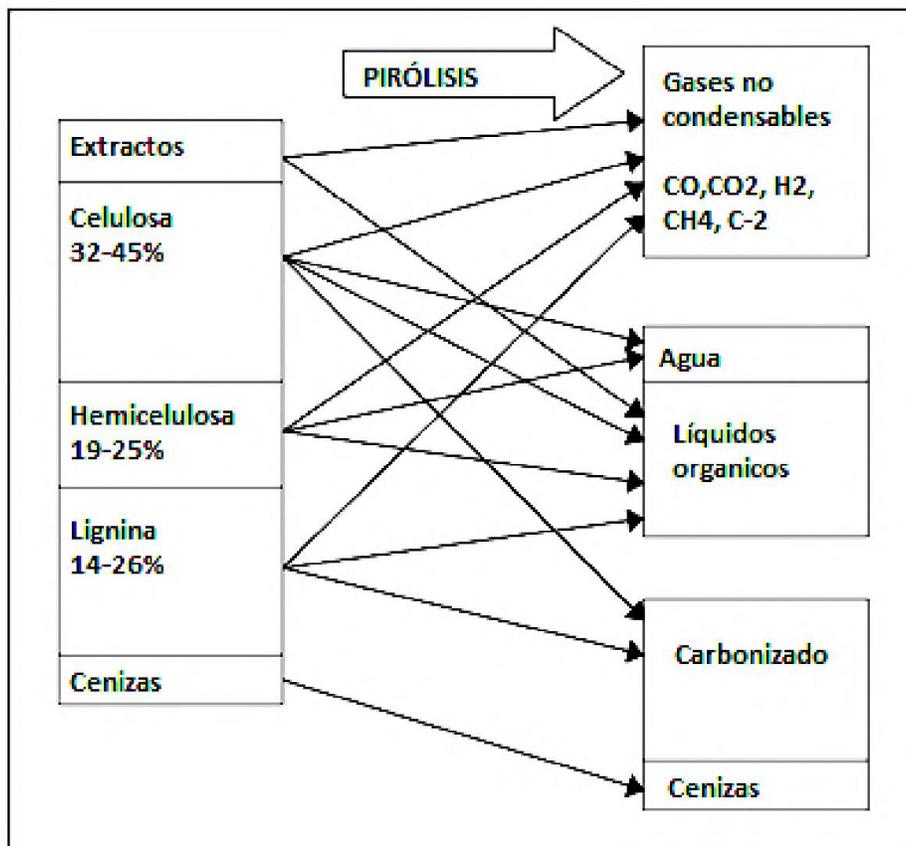


Ilustración 9 “Productos de la Pirólisis de biomasa”

Fuente: Documento “Estudio termoquímico y cinético de la Pirólisis de residuos sólidos urbanos”



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2 Contaminación producida por pirólisis de rsu

“Quizá, el tema más polémico sobre la Pirólisis de biomasas y, en general, de cualquier método de descomposición de residuos, es el correspondiente al estudio de la contaminación producida por el proceso. Varios cientos de compuestos diferentes son producidos durante la Pirólisis y algunos de ellos no han sido todavía identificados. Si estos productos no son recogidos para su aprovechamiento y, por el contrario, son descargados al medio ambiente, pueden ser considerados como contaminantes en mayor o menor grado del aire, agua o suelo.” (Cortes, 1993)

“Estos contaminantes se clasifican en tres grupos” (Girard, 1991)

4.2.1 Partículas solidas

“Con los gases emitidos, siempre se produce arrastre de partículas sólidas, sin embargo, las partículas que escapan del horno de Pirólisis son más grandes que las producidas bajo incineración, con lo que pueden ser eliminadas, más fácilmente, en ciclones u otro tipo de quipos.” (col, 1979)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.2.2 Gases no condensables

“Estos incluyen”:

- “CO”
- “CO₂”
- “Hidrocarburos (metano, etano, etileno, acetileno, propano, butilenos).”
- “H₂”

4.2.3 Materia orgánica piroleñosa o condensable

“Estas sustancias se desprenden en forma de vapor o aerosoles, dependiendo de la temperatura de emisión y el vapor de saturación de los compuestos emitidos. Cuando condensan, se forma un líquido heterogéneo que puede separarse en dos partes:” (Girard, 1991)

- “Fase acuosa: contiene, principalmente la humedad de la muestra y agua de reacción donde se disuelven cantidades considerables de ácidos orgánicos, alcoholes y otros volátiles.”
- “Fase alquitrán: donde se han identificado familias de compuestos particulares:”
 - a) “Hidrocarburos lineales saturados e insaturados”
 - b) “Materia orgánica policíclica”
 - c) “Cetonas y lactonas cíclicas”



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



CAPÍTULO 3

ESTADO DEL ARTE

“La actual problemática de los residuos sólidos urbanos junto con la necesidad de obtener energía y materias primas a partir de fuentes diferentes a los combustibles fósiles plantea retos interesantes a la ingeniería ambiental, pues se debe proponer soluciones innovadoras que permitan la posibilidad de emplear materias primas renovables, maximizando en lo posible, el ciclo de vida de un residuo y proponiendo una solución con beneficios energéticos y ambientales. Uno de los residuos que más se genera en las ciudades, y mayor impacto negativo posee, son los neumáticos usados.” (ANDREA PAOLA OCHOA, 2018)

“Antiguamente los seres humanos no contaban con una metodología en cuanto al manejo de “los residuos sólidos”, porque no existía la necesidad de hacerlo, ya que ellos implementaban una recolección acumulativa en el lugar de procedencia y luego buscaban la manera de desechar, quemar o botar los desechos. Con el pasar de los años todo esto tomó un destino diferente ya que la población fue creciendo y las comunidades iban generando mayor cantidad de residuos en su hábitat; es ahí donde empezó a crecer la necesidad de gestionar los desechos acumulados que permitiera controlar la problemática, lo que



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



gestiono en cada uno de ellos a mitigar la contaminación creando estrategias de recolección o para poder depositarlos en lugares estratégicos..” (CADAVID, 2007)

“Mediante el proceso de reciclaje, se transforma un material de desecho en otro material de utilidad, es decir, darle un uso a lo que ha sido catalogado como inservible o basura. También es una forma de solucionar el problema de la acumulación de residuos, el ahorro de la energía, la extinción de recursos no renovables, etc. logrando de esta manera la protección del medio ambiente y el mejoramiento de la economía nacional. Las industrias de reciclaje, además de que constituye una fuente de empleos e ingresos de gran beneficio y sin duda, contribuye al equilibrio ecológico. Se le da de esta manera un poco más de vida, tanto a la naturaleza como a cada uno de nosotros.” (CADAVID, 2007)

“El aprovechamiento energético de residuos plásticos obteniendo combustibles líquidos, por medio de Pirólisis es un estudio realizado por la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador donde se provee da a conocer una forma eficiente de gestionar los residuos plásticos obteniendo combustibles a través del proceso de Pirólisis de poetilentereftalato, polietileno de alta densidad y poliestireno, residuos plásticos de mayor generación dentro de la Universidad Politécnica Salesiana; en la investigación se determinó que el residuo que mayor porcentaje de fracción líquida produce es el poliestireno.” (Myriam Mancheno* Servio Astudillo, 2015)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



“Sin embargo, de acuerdo a los análisis el de mejor calidad es el polietileno de alta densidad considerado como crudo mediano. De acuerdo a los análisis de cromatografía, se muestra que las fracciones líquidas del proceso de Pirólisis de residuos plásticos contienen Sustancias que forman parte de los combustibles y petróleos, lo que confirma la obtención de combustibles líquidos de características semejantes a los tradicionales y que se pueden usar para generar energía en motores de combustión.” (Myriam Mancheno* Servio Astudillo, 2015)

“MANCHENO, M. et al. (2016). En su estudio titulado “Aprovechamiento energético de residuos plásticos obteniendo combustibles líquidos, por medio de Pirólisis”, “da a conocer una forma eficiente de gestionar los residuos plásticos obteniendo combustibles a través del proceso de Pirólisis de poentilentereftalato, polietileno de alta densidad y poliestireno, residuos plásticos de mayor generación dentro de la Universidad Politécnica Salesiana; en la investigación se determinó que el residuo que mayor porcentaje de fracción líquida produce es el poliestireno.” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“Sin embargo, de acuerdo a los análisis el de mejor calidad es el polietileno de alta densidad considerado como crudo mediano. De acuerdo a los análisis de cromatografía, se muestra que las fracciones líquidas del proceso de Pirólisis de residuos plásticos contienen sustancias que forman parte de los combustibles y petróleos, lo que confirma la obtención de combustibles líquidos de características semejantes a los tradicionales y que se pueden



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



usar para generar energía en motores de combustión. Se determinó que la temperatura óptima para el desarrollo del proceso de Pirólisis de residuos plásticos es 400°C debido a que a temperaturas menores a 300°C el proceso de Pirólisis no se desarrolla en su totalidad. También que el Poliestireno PS es el residuo plástico que, mediante el proceso de Pirólisis a 400°C, presión constante y tiempo de residencia de 30 minutos, presenta mayor rendimiento de fracción líquida con el 68.55%.” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“Por otro lado se realizó un estudio en la ciudad de Pucallpa capital del departamento de Ucayali, la unidad de análisis fueron los residuos de tres tipos de plásticos que son el PP, PS y PEAD con un pesaje de 20 kilos cada uno los cuales fueron recolectados en el botadero de la ciudad el cual se encuentra en el kilómetro 22 de la ciudad de Pucallpa 2018 con la finalidad de conocer las características físicas, químicas, rendimiento y emisiones de gases del combustible obtenido mediante los residuos de los tres tipo de pasticos que se utilizó en la investigación. Para establecer cuál de los combustibles obtenidos es de menor, igual o mejor calidad que el Diésel B5 esto se da mediante el proceso de la Pirólisis el cual servirá como fuente de operación para poder realizar la investigación y así determinar el producto de mejor rendimiento en la utilización de este. Se obtuvo como resultado que el combustible fuel-oil obtenido de los residuos del plástico PS fue de mayor calidad y mejor rendimiento que el Diésel B5, por otro lado el combustible fuel- oil obtenido por los residuos de los plásticos de PEAD son de características similares tanto física como químicas al igual que en rendimiento al Diésel B5, otro es el caso con el combustible fuel-



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



oil obtenido de los residuos del plástico PP el cual es el que menor similitud tuvo con las características tanto física como químicas y rendimiento con respecto al Diésel B5.”

(Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“Se usó un reactor donde mediante Pirólisis se desintegró los residuos plásticos convirtiendo su estado sólido a estado gaseoso a temperatura de 450 °C, de manera inmediata este gas caliente pasó a estado líquido teniendo contacto directo con agua, por lo cual al pasar el tiempo se forma el Fuel-oil y por densidad se posicionará sobre el H₂O empleado y así se pudo retirar de forma sencilla, con el reciclaje de estos residuos buscamos la transformación, restituyendo el valor económico de los plásticos pero ya no como tal, sino como materia prima o fuente de energía.” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“Al obtener este producto líquido conocido como fuel-oil se caracterizó tanto de forma física (densidad, viscosidad) como química (poder calorífico, punto de inflamación, índice de cetano) comparando con los diferentes residuos plásticos aplicados para esta investigación, así como los gases producidos por el Fuel-oil y el rendimiento de la misma para determinar si el producto fuel-oil obtenido es una alternativa de solución frente al combustible convencional.” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018).

“CHURKUNTI, P. et al. (2015). En su estudio “Combustion analysis of pyrolysis end of life plastic fuel blended with ultra low sulfur diésel” nos indica que la creciente demanda de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



energía junto con el rápido agotamiento de los combustibles fósiles no renovables y el cambio climático global ha llevado a una búsqueda de recursos energéticos alternativos. Los combustibles plásticos de desecho han ganado un interés significativo ya que no sólo solucionan problemas de eliminación, sino que también proporcionan un recurso energético alternativo.” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“El análisis de la combustión de los residuos de combustibles derivados de plásticos ha mostrado hallazgos contradictorios con respecto al consumo de combustible y las emisiones peligrosas. Esto es debido al proceso de conversión empleado (por ejemplo, térmica frente a Pirólisis catalítica) y al tipo de plástico utilizado que da como resultado un rango diverso de propiedades de combustible (es decir, viscosidad y número de cetano).” (Carlos Alberto Campos Lapa, 2018)

“En este esfuerzo, se ensayó un combustible derivado comercialmente (CynDiesel) fabricado a partir de una mezcla de plásticos residuales a 5 través de Pirólisis catalítica como una mezcla con Ultra Low Sulphur Diesel (5%, 10%, 20% y 100% en volumen) a comprender mejor los cambios en las fases de pre mezcla y difusión en función de las propiedades del combustible. El número de cetano significativamente mayor de este combustible combinado con su viscosidad relativamente más alta redujo drásticamente la fase de combustión premezclada más eficiente; sin embargo, el consumo de combustible se mantuvo constante debido a su mayor contenido energético en masa. Como resultado, se



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



encontró que las temperaturas dentro del cilindro eran más altas a altas cargas, pero las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) disminuyeron con el contenido de CynDiesel.”
(Carlos Alberto Campos Lapa, 2018).

“La continua demanda de plásticos ha causado grandes acumulaciones de residuos en los vertederos, contribuyendo a problemas ambientales y de salud pública. En Colombia se genera anualmente cerca de 9,5 millones de toneladas de residuos sólidos, correspondiendo un 14% a materiales plásticos. La Pirólisis es una técnica mediante la cual es posible remediar parte del problema, ya que permite recuperar energía y productos en forma de combustible líquido y gaseoso. En este trabajo se presenta la implementación y comparación de dos modelos en Aspen Plus para la simulación del proceso de pirólisis para la producción de combustibles líquidos a partir de diferentes tipos de residuos plásticos. Los modelos se basan en la minimización de la energía libre de Gibbs y mecanismos cinéticos de reacción. La simulación realizada calcula los rendimientos (% peso) y propiedades para cada corriente de producto dependiendo de las condiciones de operación. En comparación con datos de la literatura e información experimental recolectada en esta investigación, el modelo termodinámico mostró desviaciones mayores al 20%, mientras que con el modelo cinético los errores fueron $\leq 8\%$. De acuerdo a los resultados obtenidos, la producción de combustibles líquidos a partir de residuos plásticos se ve favorecida según la materia prima de la siguiente manera: poliestireno menor al polietileno de alta densidad



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



igual al polietileno de baja densidad menos al polietileno tereftalato.” (Sebastian Amar Gil, 2019)

“Los modelos empleados para la caracterización del proceso de pirólisis de los materiales han evolucionado de forma paralela a las capacidades computacionales y a la adquisición de destrezas en la aplicación de nuevos ensayos de caracterización de materiales que provienen de campos próximos como el de la ingeniería. Así, se utilizan modelos que no solo caracterizan las propiedades físicas de los materiales (inercia térmica), sino también los mecanismos y ritmos de reacción de los procesos de pérdida de masa asociados a la liberación de combustibles volátiles (tripleto cinético).” (E. Puente*, 2013)

“Esta descripción detallada implica una gran cantidad de parámetros, lo que hace difícil un ajuste de la respuesta del material, por lo que se hace necesario aplicar herramientas para su optimización. En este estudio se presenta la optimización para 2 materiales con mecanismos diferenciados, uno real con un proceso caracterizado por un solo paso, y otro sintético de 2 pasos. A continuación, se estudia la importancia de ciertas variables en la velocidad y precisión del algoritmo (diversidad de la población, amplitud del rango de entrada de los parámetros, influencia del tipo de mezcla)” (E. Puente*, 2013)

“La Pirólisis es una técnica de descomposición térmica que puede ser utilizada para la valorización de diversos tipos de residuos orgánicos, principalmente biomasa, pero entre los que se encuentran también los residuos de piel curtida procedente de la industria del



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



calzado y del curtido, tal y como han demostrado anteriormente diversos trabajos de investigación. Sin embargo, la Pirólisis no solo debe ser considerada como una técnica de valorización de residuos, sino que también puede utilizarse para la caracterización y el estudio de diferentes materiales en el ámbito de la ciencia forense o alimentación, entre otros.” (Gil, 2016)

“Las conclusiones alcanzadas por el grupo de investigación en trabajos previos ponían de manifiesto la viabilidad de la Pirólisis como posible técnica de valorización de los residuos de la piel curtida, pero además abría las puertas a una posible utilización de la pirólisis como técnica de análisis de estos materiales, sin embargo se hacía necesario un estudio en mayor profundidad del material, puesto que la bibliografía sobre la pirólisis de piel es muy escasa. Este hecho motivó que se decidiera abordar el presente trabajo con el objetivo de estudiar y caracterizar en profundidad la piel curtida mediante el uso de diferentes técnicas analíticas de descomposición térmica como la termo gravimetría y la pirólisis flash en pyroprobe.” (Gil, 2016).

“El proceso de descomposición de la piel es un proceso complejo con numerosas etapas de descomposición. Tal y como se detalla en el patrón cinético presentado para la desintegración de la piel curtida de descomposición térmica de la piel curtida se pueden diferenciar hasta cuatro etapas de descomposición. Los estudios realizados para desarrollar el modelo cinético se llevaron a cabo en termobalanza, sobre una piel bovina curtida al



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



romo y contemplando además un posible tratamiento previo de impregnación de las pieles con una disolución de hidróxido sódico. Los resultados obtenidos dieron lugar al desarrollo de un modelo formado por tres reacciones en serie y una en paralelo. En este trabajo también se realiza el estudio de los distintos parámetros evaluados en el modelo tras el tratamiento de impregnación con NaOH, incluyendo la concentración de la disolución y el tiempo de impregnación como factores del modelo.” (Gil, 2016)

“Una vez demostrado el efecto del tratamiento básico en la cinética del proceso de descomposición térmica de la piel, se decidió estudiar, en contraposición, el efecto de un tratamiento ácido en este tipo de residuos, analizando la influencia del tratamiento ácido en el proceso de descomposición llevado a cabo en termobalanza, así como en la distribución de compuestos que dan lugar a la fracción líquida obtenida mediante pirólisis flash a 500 °C en pirograbe. De forma similar a lo que se observa con el tratamiento básico, la incorporación de los cloruros metálicos a la piel curtida produce un ligero efecto catalítico puesto que da lugar a que el proceso de máxima descomposición de la piel se adelante y empiece a una menor temperatura. Sin embargo, en el caso del tratamiento ácido la disminución que se produce es mucho más ligera que con el tratamiento básico. En relación con la composición de la fracción líquida obtenida por pirólisis flash, el tratamiento con cloruros produce una disminución en los ácidos orgánicos generados y un aumento en el porcentaje de compuestos aromáticos. El estudio estadístico de resultados mediante técnicas multivariantes pone de manifiesto que el tratamiento con los cloruros influye en



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



mayor medida en las curticiones orgánicas y en menor medida en las inorgánicas, pero manteniendo las características propias de la curtición.” (Gil, 2016)

“El proceso de incineración o combustión se define como la descomposición térmica de biomasa, o residuos sólidos municipales en este caso, a altas temperaturas (mayores a 850°C) y en presencia de oxígeno. En la incineración se utiliza oxígeno en exceso para conseguir una combustión completa de los residuos. El fin de la incineración es la reducción de volumen de los sólidos con su consecuente aprovechamiento para la producción de electricidad, vapor o calefacción.” (Álvarez, 2014)

“Posterior a la incineración los efluentes, emisiones atmosféricas y cenizas, deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición final, Por último la Pirólisis descompone térmicamente los residuos en ausencia total o casi total de oxígeno. Las condiciones de operación varían de acuerdo con los productos que se desee obtener. Entre estos se encuentran gas de síntesis, productos líquidos (aceites de Pirólisis y ácidos piro-leñosos) y un sólido carbonoso que puede ser convertido en carbón vegetal o carbón activado. Ocurre a temperaturas entre 200- 1100°C.” (Álvarez, 2014)

“Actualmente, el mundo enfrenta un problema grave conectado con la gestión de residuos. Mientras el relleno sanitario es todavía un método muy utilizado en países en desarrollo como Colombia, en este trabajo se exploran otros métodos cuyos resultados son exitosos desde un punto de vista en este caso financiero, técnico-ambiental, pero que



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



también tienen en cuenta la generación y aprovechamiento de los recursos, como son: el compostaje, la incineración, la Pirólisis y la gasificación. Estos métodos optimizan los residuos sólidos usualmente depositados en rellenos sanitarios y generan otro tipo de productividad. (Pulgarin, 2021)

En este artículo de revisión se hace un rastreo sobre las problemáticas que actualmente afronta Colombia, y territorios locales como Antioquia y Medellín, en correlación con la habilidad final de los residuos sólidos. Además, se considera la relación existente entre la cuantía de residuos que se generan en el país y las capacidades de reacción, así como los lugares disponibles para hacer su disposición final, y encuentra allí una proporción baja y la raíz central del problema que vive Colombia actualmente en este tema.” (Pulgarin, 2021)

“Colombia es un país con todas las capacidades institucionales para actualizar la disposición de recursos sólidos. El presente artículo discute en profundidad las leyes y normativas que han reglamentado la adecuación de los rellenos sanitarios, a partir de la Resolución 1390 del 2005 y del Decreto 838 del mismo año. Se hace un énfasis puntual en la ciudad de Medellín para comprender las dinámicas propias del territorio frente a la gestión de residuos sólidos. Para ello, se discuten algunos informes entregados por algunas de las empresas prestadoras del servicio sanitario, en especial en las zonas de difícil acceso. En general, el artículo permite concluir que el territorio nacional no cuenta con el tipo de tecnologías que promueven el aprovechamiento de residuos sólidos, asunto que se da no



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL

Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



por falta de avances técnicos sino, principalmente, por la falta de voluntad política por parte de los gobiernos locales y nacionales.” (Pulgarin, 2021).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



CONCLUSIONES

En base a lo anterior se logró concluir que “la Pirólisis” se considera una opción que podría implementarse como una alternativa para reciclar los residuos sólidos debido a la acción del hombre, implementando el calor en una atmósfera sin presencia de oxígeno, para obtener como producto final una mezcla de hidrocarburos, gases y agua; también permite disponer de forma sanitaria y ecológica los desechos, reduciendo su volumen, al convertirlos en materiales sólidos, líquidos y gaseosos; posibilitando que éstos, puedan utilizarse como materias primas en sectores energéticos o en diversos procesos industriales

En la identificación de sus ventajas se logró determinar las actividades que hacen parte de la reducción de residuos, dónde se provee el aprovechamiento de estos, la derivación en la conservación de la salubridad, la mejora en la calidad de vida de toda la población, cuidado del ambiente y el alto cuidado de los recursos que tenemos naturales.

Se describió los tipos de Pirólisis según sus componentes, características y su proceso para la verdadera comprensión de sus condiciones y sus resultados en cada uno de los tratamientos propuestos y se mostró según autores cada experimentación donde se llevó a cabo distintos procesos y uso de Pirólisis, en cada uno de ellos a su vez se planteó una ideología de mitigación y prevención para disminuir como idea principal la contaminación ambiental que por hoy se vive.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Se consideró que la pirólisis es un proceso uniformado que tiene como resultado fracciones de carbón líquidos y gases, Donde se pueden identificar los factores más importantes que permiten el buen desarrollo de la pirólisis, entre los cuales se encuentran “la temperatura, la velocidad de calentamiento, su período de residencia, la velocidad de enfriamiento y entre ellas las tecnologías usadas para el proceso”, Es por ello que se logró describir cada proceso en cada una de las etapas de la pirólisis dando referencia a “las proporciones y características de los productos primarios y secundarios que optimizaron la producción lentamente logrando así tiempos de reacción menores.”



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



BIBLIOGRAFIA

(BIRF), P. d. (Abril de 1996). *Análisis sectorial de Residuos Sólidos en Colombia*.

Acurio. (2019). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestion y Region* , 101-119.

Álvarez, A. S. (2014). *Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales*. No. 253: Es una publicación periódica de CEGESTI.

Ambiental, S. (2018). *Cueva del Ingeniero Civil* . Obtenido de <https://www.cuevadelcivil.com/2011/04/reduccion-de-los-residuos-solidos.html>

Ambiente, M. d. (1997). *POLITICA PARA LA GESTION DE RESIDUOS* . Santafé de Bogotá

ANDREA PAOLA OCHOA, D. P. (2018). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE LLANTAS USADAS*. Bogotá.

Ángel. (2013). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Arauzo. (2014). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Arbelaez, J. I. (2014). PIROLISIS RAPIDA . En J. I. Arbelaez, *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA* (pág. 198). Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia, sede Medellín .

Arbelaez, J. I. (2014). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA* . Medellín, Colombia : Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Arias, C. A. (s.f.). *PIENSA UN MINUTO ANTES DE ACTUAR: GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS*. Ministerio de Ambiente .

Arseneau. (1970). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

BARAY-GUERRERO, M. d.-F.-D. (2019). Tratamiento de la biomasa lignocelulósica mediante la pirolisis lenta y a baja temperatura para la producción de biocombustibles. *Revista de Energías renovables*, 1-9.

Basu. (2010). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Bergius. (2012). *El proceso de carbonización hidrotermal aplicado a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*. Valencia : Instituto de tecnología química .



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Bhaskar, D. y. (2017). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Bioresour. (2014). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *AFINIDAD LXXIII*, 573, 60-68.

Bridgwater. (1999). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Broido, K. y. (1965). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*.

CADAVID, O. D. (2007). *ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN ANTIOQUIA*. ANTIOQUIA-MEDELLIN: UNIVERSIDAD EAFIT

Campis Eritja, 1. (1994). *TRANSFORMACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU)*.

Carlos Alberto Campos Lapa, F. T. (2018). *COMBUSTIBLES FUEL-OIL OBTENIDOS DE RESIDUOS PLÁSTICOS MEDIANTE PIRÓLISIS, PUCALLPA*. LIMA – PERÚ: Tratamiento y gestión de residuos sólidos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Chiaromonti, D. (2007). *Revista de Energías Renovables. Tratamiento de la biomasa lignocelulósica mediante la pirolisis lenta y a baja temperatura para la producción de biocombustible*, 9.

col, A. y. (1979). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Col, M. y. (1984). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante : Tesis doctoral de la Universidad de Alicante .

Cortes, A. N. (1993). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISSI DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS* . Alicante : Universidad de Alicante .

Czernik. (2002). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Demirbas. (2010). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Dias, R. y. (2017). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Diebol. (1980). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.
- Dueñas, C. (2015). Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia. *Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño*, 64-75.
- E. Punte*, M. L. (2013). Aplicación de un algoritmo evolutivo para la optimización del modelado computacional de la pirólisis de materiales. *ScienceDirect*, 208-2014.
- Echarri. (2019). La segunda vida de los materiales: El reciclaje y su aplicabilidad en la arquitectura y el diseño urbano. *MODULO ARQUITECTURA-CUC*, 159-194.
- Everett. (2005). Gestion de residuos solidos urbanos: Analisis economico y politicas publicas. *Centro de estudios Andaluces*, .
- Flecha, S. H. (2016). Reflexiones sobre la importancia economica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Tevista tecnologica*, 1-20.
- Francisco J Andre, E. C. (2006). Gestion de residuos solidos urbanos; analisis economico y politicas publicas. *Cuadernos Economicos de ICE*, 20.
- Gil, E. B. (2016). Estudio de la pirólisis de piel curtida. Caracterización y reciclado. *DIALNET*, 1-7.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Girard, M. y. (1991). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Gomez, K. &. (2008). *Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia*. 64-75: Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño.

Hector felipe hernandez morales, E. f. (2017). *Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente de cinc, cobre, cromo y níquel* . Bogota : Ciencia Unisalle.

Heinke, H. y. (Mayo de 2007). *Gestión Integral de residuos solidos peligrosos (bases conceptuales)*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Desarrollo Territorial.

Hoekstra. (1984). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Hugo. (2010). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Hyman, M. (2013). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS* . Bogota : Documento CONPES.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



INECOL, i. d. (1975-2021). *Las tres R: Una opción para cuidar nuestro planeta.*

Jaramillo. (2019). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestion y Region*, 101-119.

Kaminsky. (1980). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Kroenke, L. y. (1980). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

KUESTTER. (1993). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS* . Alicante : Tesis doctoral de la Universidad de Alicante .

Luengo. (26 de Enero de 2018). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS APLICADO AL MATERIAL LIGNOCELULOSICO RESIDUAL PROVENIENTE DEL PINO PATULA EN ATMOSFERA DE DIOXIDO DE CARBONO*. Obtenido de Universidad Libre de Colombia .



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Madorsky. (1964). *ESTUDIO TERMOQUIMICO Y CINETICO DE LA PIROLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Alicante: Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Medina. (2018). *DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS COMO ELEMENTO DEL MODELO DE SOSTENIBILIDAD EN LA LOCALIDAD KENNEDY EN BOGOTÁ*. Bogota : Centro de publicaciones de la Universidad Cooperativa de Colombia .

Meilyn González Cortés, ,. L. (2014). La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. *Afinidad LXXI*, 274-278.

Mohan. (2006).

Mohan. (2006). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Montoya. (2014). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

MONTOYA, J. I., & CHEJNE-JANNA, F. (2015). Pirólisis rápida de biomásas: Una revisión de los aspectos relevantes.: Parte I: Estudio paramétrico. *DYNA*, 239-248.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Myriam Mancheno* Servio Astudillo, P. A. (2015). APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS PLÁSTICOS OBTENIENDO COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, POR MEDIO DE PIRÓLISIS. *Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 23(1): 53–59. ISSN impreso: 1390-3799. ISSN electrónico: 1390-8596, 53-59.

Natalia Afanasjeva, L. C. (2018). Biomasa lignocelulósica. Parte II: Tendencias en la pirólisis de biomasa. *Journal of Science with Technological Applications*, 4-22.

Nhuchen. (2014). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *AFINIDAD LXXIII*, 573, 60-68.

Olivero, N. &. (2010). Evaluación de efectividad del proceso de pirolisis como metodo de disposicion final de residuos solidos. *SENA PORTAL DE REVISTAS* , 64-75.

ONU. (2007). Organizacion de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial .

Pineda. (2019). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestion y Region* , 101-119.

Pinedo, A. U. (2013). “OBTENCIÓN DE BIOCARBONES Y BIOCMBUSTIBLES MEDIANTE PIRÓLISIS DE BIOMASA RESIDUAL” . Madrid: Departamento de Ciencias Analíticas .



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Posada, F. y. (2007). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Pulgarin, Y. L. (2021). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia*, Cuaderno Activa, 12(1), 119-134.

Quintero, O. y. (23-24 de julio de 2008). *GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS*.

Republica de Colombia, M. d. (1998). POLITICA PARA LA GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS. En M. d. Ambiente, *POLITICA PARA LA GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS* (págs. 1-42). Santafe de Bogota: Imprenta Nacional de Colombia .

Ringer. (2006). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín: Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Rivera, O. D. (2012). *Conversión de biomasa recalcitrante originada en la producción de etanol a partir de la planta de banano y su fruto en combustibles mediante procesos de pirolisis*. Obtenido de tesis-Universidad Nacional de Medellín:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10987/15355687.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Scott. (1999). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellín : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.

Sebastian Amar Gil, A. N. (2019). Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, VOL 37 #2.

Sostenible, M. d. (s.f.). Etapas de la gestion integral de residuos solidos urbanos . *Control y Monitoreo Ambiental* .

Tchobanoglous. (1993). *Estudio de Factibilidad Técnica y Económica de una Planta de Pirolisis para la valorizacion energetica de residuos solidos urbanos*.

URBANOS, G. D. (2011). Transformaciones de los Residuos Sólidos. En L. M. Benavides, *Residuos sólidos: un enfoque multidisciplinario Volumen I* (pág. 504). Mexico : Libros en Red .

Urien, A. (2013). *Obtencion de biocarbones y biocombustibles mediante pirolisis de biomasa residual*. Madrid: Laboratorio de Innovación y Reciclado de materiales del centro nacioanl de investigaciones metalurgicas del consejo superior de investigaciones cientificas (CSIC).

Vicente, J. P. (2008). *ESTUDIO ANALÍTICO DE MATERIALES EMPLEADOS EN BARNICES, AGLUTINANTES Y CONSOLIDANTES EN OBRAS DE ARTE*



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



MEDIANTE MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS Y ESPECTROMÉTRICOS.

Valencia : Servei de publicacions.

Wild. (2010). *PIROLISIS RAPIDA DE BIOMASA*. Medellin : Centro de publicaciones de la universidad de nacional de Colombia.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750