



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE
PIRÓLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS.**

Trabajo De Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: ALEX RODRIGO BARZOLA NÚÑEZ

DIRECTOR: Ing. PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES, PhD.

Riobamba - Ecuador

2023

©2023, Alex Rodrigo Barzola Núñez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Alex Rodrigo Barzola Núñez, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor de esta investigación conlleva la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de abril de 2023






Alex Rodrigo Barzola Núñez

C.I: 180424337-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PIRÓLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS**, realizado por el señor: **ALEX RODRIGO BARZOLA NÚÑEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Med. Guillermo Eduardo Davalos Merino, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2023-04-25 |
| Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2023-04-25 |
| Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui, MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2023-04-25 |

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis Padres, Nelson y María, ya que ellos me han enseñado que con trabajo, constancia y dedicación. Se pueden conseguir grandes cosas. Además de que siempre me han inculcado los valores de honestidad, respeto, hacia las demás personas. Todo el esfuerzo que ellos han hecho por mí ha sido un impulso para poder demostrarles que a pesar de que muchas veces he intentado darme por vencido, si se puede salir adelante. Aún tengo la imagen de mis padres levantarse todos días a la madrugada para que yo pueda viajar a la universidad, el sacrificio de mi padre, el esfuerzo de mi madre para que nunca me falte nada, Todas esas cosas que han hecho por mí, las llevare siempre en mi corazón, y estoy seguro de que todo lo que haga desde hoy en adelante, será por ellos. Dedico este trabajo también a mis hermanos Patricio y Josué, ya que son el complemento y la adoración de mi vida, y a todos mis amigos y demás familiares que han formado parte de esta etapa de mi vida y que han hecho que cada instante compartido sea inolvidable. Y a mi abuelito Luis Núñez, al que siempre llevo en mi corazón.

Alex

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme brindado la información pertinente y necesaria al igual que la oportunidad de ser parte de tan prestigiosa institución. Al Ing. Paul Palmay tutor del trabajo de titulación, por su guía, apoyo, paciencia, asesoramiento y acompañamiento permanente durante el transcurso de la realización del Trabajo de Integración Curricular y la metodología impartida para que el trabajo se realice correctamente. A la Ing. Rafaela Viteri. por su acompañamiento y todos sus conocimientos impartidos a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Alex

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xi |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---------------------------------------------------|---|
| 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 3 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.2. Limitaciones y delimitaciones | 3 |
| 1.3. Problema general de investigación | 4 |
| 1.4. Problemas específicos de investigación | 4 |
| 1.5. Objetivos | 4 |
| 1.5.1. <i>Objetivo general</i> | 4 |
| 1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> | 5 |
| 1.6. Justificación | 5 |

CAPÍTULO II

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. Antecedentes de investigación..... | 7 |
| 2.2. Referencias teóricas | 8 |
| 2.2.1. <i>Plásticos</i> | 8 |
| 2.2.2. <i>Propiedades de los plásticos</i> | 8 |
| 2.2.2.1. <i>Clasificación de los plásticos</i> | 8 |
| 2.2.2.2. <i>Residuos plásticos urbanos</i> | 10 |
| 2.2.2.3. <i>Clasificación de los termoplásticos</i> | 11 |
| 2.2.3. <i>Polipropileno pp</i> | 12 |
| 2.2.4. <i>Propiedades físicas del polipropileno</i> | 13 |
| 2.2.5. <i>Reciclaje de plásticos</i> | 14 |
| 2.2.5.1. <i>Tipos de reciclaje de plásticos</i> | 15 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.5.2. | <i>Pirólisis</i> | 16 |
| 2.2.5.3. | <i>Pirólisis térmico</i> | 18 |
| 2.2.5.4. | <i>Temperatura en el proceso de pirólisis</i> | 18 |
| 2.2.5.5. | <i>Tipos de reactores</i> | 19 |
| 2.2.6. | <i>Pirólisis discontinua y pirólisis continua</i> | 22 |
| 2.2.6.1. | <i>Pirólisis discontinua</i> | 22 |
| 2.2.6.2. | <i>Pirólisis continua</i> | 23 |
| 2.2.7. | <i>Reactor de lecho fluidizado circulante</i> | 24 |
| 2.2.8. | <i>Recomendaciones importantes para la pirólisis continua con un (RLFC)</i> | 25 |
| 2.2.9. | <i>Productos del proceso de pirólisis</i> | 25 |
| 2.2.10. | <i>Gases de efecto invernadero</i> | 25 |
| 2.2.11. | <i>Cambio climático</i> | 27 |
| 2.2.12. | <i>Huella de carbono (HC)</i> | 27 |
| 2.2.12.1. | <i>Huella de carbono de un producto</i> | 28 |
| 2.2.12.2. | Principales metodologías para el cálculo de la huella de carbono de un producto ... | 28 |
| 2.2.12.3. | <i>Factor de emisión</i> | 29 |
| 2.2.12.4. | <i>Dióxido de carbono equivalente</i> | 29 |

CAPÍTULO III

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 30 |
| 3.1. | Localización del estudio | 30 |
| 3.2. | Enfoque de investigación | 31 |
| 3.3. | Nivel de la investigación | 31 |
| 3.4. | Tipo de estudio | 32 |
| 3.5. | Estudio experimental | 32 |
| 3.6. | Métodos y técnicas | 32 |
| 3.6.1. | <i>Métodos</i> | 32 |
| 3.7. | Método de cálculo de la huella de carbono para los procesos continuo y discontinuo de pirólisis de polipropileno | 34 |
| 3.7.1. | <i>Técnicas</i> | 35 |
| 3.8. | Población de estudio | 35 |
| 3.9. | Tamaño de la muestra | 35 |
| 3.9.1. | <i>Balance de masa general del proceso de pirólisis de plástico</i> | 36 |
| 3.9.1.2. | <i>Factor de emisión</i> | 37 |
| 3.9.2. | <i>Huella de carbono para el proceso de pirólisis discontinua, equipo ESPOCH</i> | 37 |
| 3.9.3. | <i>Condiciones de operación del sistema de pirólisis discontinua ESPOCH</i> | 38 |

| | | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.9.4. | <i>Características del equipo de pirólisis discontinua ESPOCH</i> | 39 |
| 3.9.5. | <i>Datos de los productos del proceso de pirólisis discontinua de propileno</i> | 39 |
| 3.9.5.1. | <i>Cálculo de la potencia de los motores utilizados para en el equipo de pirólisis discontinua</i> | 39 |
| 3.9.6. | <i>Cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis discontinua de polipropileno</i> | 40 |
| 3.9.6.1. | <i>Proceso de pirólisis continua</i> | 42 |
| 3.9.6.2. | <i>Esquema general y características del proceso de pirólisis en lecho fluidizado circulante</i> | 42 |
| 3.9.6.3. | <i>Rendimiento del proceso de pirólisis continua de polipropileno</i> | 43 |
| 3.9.6.4. | <i>Cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis continua</i> | 43 |
| 3.9.6.5. | <i>Consumos energéticos de cada elemento del equipo de pirólisis continua, (RLFC)</i> | 44 |
| 3.9.6.6. | <i>Huella de carbono del proceso de pirólisis de polipropileno en la ciudad de Riobamba</i> | 46 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. | RESULTADOS | 51 |
| 4.1. | Equipo | 51 |
| 4.1.1. | <i>Potencia de trabajo de cada elemento del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)</i> | 51 |
| 4.1.2. | <i>Huella de carbono del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)</i> | 51 |
| 4.1.3. | <i>Huella de carbono del equipo de pirólisis continua con el uso del reactor de lecho fluidizado circulante</i> | 52 |
| 4.1.4. | <i>Producción per cápita de residuos sólidos, plásticos y polipropileno en la ciudad de Riobamba</i> | 52 |
| 4.1.5. | <i>Cálculo de la huella de carbono a escala industrial para el equipo de pirólisis BESTON BLJ3 2-3 toneladas (discontinuo)</i> | 53 |
| 4.2. | Análisis y discusión de resultados | 53 |

| | |
|---------------------------|----|
| CONCLUSIONES | 58 |
|---------------------------|----|

| | |
|------------------------------|----|
| RECOMENDACIONES | 60 |
|------------------------------|----|

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1-2: Clasificación de los termoplásticos | 11 |
| Tabla 2-2: Propiedades físicas del polipropileno | 13 |
| Tabla 3-2: Tipos de reactores | 19 |
| Tabla 4-2: Productos del proceso de pirólisis | 25 |
| Tabla 5-2: Gases de efecto invernadero | 26 |
| Tabla 6-2: Metodologías para el cálculo de la huella de carbono de un producto | 28 |
| Tabla 1-3: Ubicación y características geográficas de la ESPOCH | 30 |
| Tabla 2-3: Entradas y salidas en el balance de masa del proceso de pirólisis discontinua | 36 |
| Tabla 3-3: Condiciones de operación equipo de pirólisis ESPOCH | 38 |
| Tabla 4-3: Características de funcionamiento de los motores para el equipo de pirólisis discontinua..... | 39 |
| Tabla 5-3: Productos del proceso de pirólisis discontinua..... | 39 |
| Tabla 6-3: Características del proceso de Pirólisis utilizando un reactor de lecho fluidizado . | 43 |
| Tabla 7-3: Rendimiento del proceso de pirólisis continua..... | 43 |
| Tabla 8-3: Consumos de energía del proceso de pirólisis continua | 44 |
| Tabla 9-3: Datos para el cálculo de la producción per cápita de residuos plásticos, en la ciudad de Riobamba..... | 46 |
| Tabla 10-3: Características técnicas del equipo de pirólisis discontinua | 47 |
| Tabla 11-3: Características técnicas del equipo de pirólisis continua BESTON BLL30 | 49 |
| Tabla 1-4: Resultados de los cálculos de la potencia de trabajo de cada elemento del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)..... | 51 |
| Tabla 2-4: Huella de carbono calculada del equipo de pirólisis discontinua | 51 |
| Tabla 3-4: Huella de carbono calculada del equipo de pirólisis continua con el uso de un RLFC | 52 |
| Tabla 4-4: Resultados del cálculo de la producción per cápita de residuos sólidos, plásticos y polipropileno en Riobamba | 52 |
| Tabla 5-4: Resultados del cálculo de la huella de carbono para el equipo BESTON BLJ3 2-3 toneladas (discontinuo)..... | 53 |
| Tabla 6-4: Cálculo de la huella de carbono para el equipo BESTON BLL30 20-30 toneladas (continuo) | 53 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1-2: Producción mundial de termoplásticos | 10 |
| Ilustración 2-2: Estructura de poliolefinas formadas por alquenos simples | 13 |
| Ilustración 3-2: Polipropileno (PP)..... | 14 |
| Ilustración 4-2: Línea de procesos..... | 16 |
| Ilustración 5-2: Línea de procesos..... | 17 |
| Ilustración 1-3: Localización geográfica del lab. De operaciones unitarias ESPOCH..... | 31 |
| Ilustración 2-3: Diagrama del proceso | 34 |
| Ilustración 3-3: Cantidad de plásticos clasificados | 35 |
| Ilustración 4-3: Fracciones sólidas, líquidas y gaseosas del proceso de pirólisis discontinua .. | 36 |
| Ilustración 5-3: Localización geográfica de la Facultad de Ciencias ESPOCH..... | 36 |
| Ilustración 6-3: Diagrama del proceso de pirólisis discontinua (equipo ESPOCH)..... | 38 |
| Ilustración 7-3: Diagrama del proceso de pirólisis continua | 42 |
| Ilustración 1-4: Huella de carbono del proceso de pirolisis discontinua (ESPOCH) | 53 |
| Ilustración 2-4: Huella de carbono del proceso de pirolisis continua..... | 54 |
| Ilustración 3-4: Comparación de la huella de carbono del proceso continuo y discontinuo | 55 |
| Ilustración 4-4: Residuos plásticos y polipropileno | 56 |
| Ilustración 5-4: Huella de carbono del equipo discontinuo..... | 57 |
| Ilustración 6-4: Huella de carbono del equipo continuo 20-30 ton | 57 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---------------------------|----|
| Ecuación 1-3 | 36 |
| Ecuación 2-3 | 37 |
| Ecuación 3-3 | 39 |
| Ecuación 4-3 | 41 |
| Ecuación 5-3 | 46 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: GUIA PARA EL CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO, MINISTERIO DE TRANSICION ECOLOGIA DE ESPAÑA

ANEXO B: EQUIPO DE PIROLISIS DISCONTINUA ESPOCH

ANEXO C: EQUIPO DE PIROLISIS BESTON CONTINUA BLL 30

ANEXO D: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PIROLISIS CONTINUA BESTON BLL 30

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo calcular la huella de carbono del proceso de pirólisis de residuos plásticos. Con el fin de determinar si el proceso de pirólisis continuo o discontinuo es un tratamiento que ayudaría significativamente a reducir los índices de contaminación ambiental, por el incorrecto manejo de los residuos plásticos, para lo cual se determinó que el proceso de pirólisis continua genera una menor cantidad de huella de carbono. Se utilizó la metodología dictada por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente de España, la cual está basada en las normas ISO 14067, ISO 14069. Para el cálculo en el proceso de pirólisis discontinua y continua, se determinó el factor de emisión para el consumo de energía eléctrica, posteriormente se tomó la medida del voltaje de los elementos que componen el equipo. Obteniendo el dato de consumo de energía eléctrica en un periodo de tiempo de 5 horas de tratamiento de 1 kg de polipropileno. Luego, se realizó el cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis discontinua de acuerdo con la normativa. En cuanto al proceso de pirólisis continua se eligió el sistema basado en un reactor de lecho fluidizado circulante, ya que se comprobó que es un sistema más eficiente, en cuanto a rendimiento. Asimismo, se obtuvo el dato de consumo de energía eléctrica del equipo de pirólisis continua, para así calcular la huella de carbono de dicho proceso. Finalmente se determinó la HC de los dos procesos, llegando a determinar que el proceso de pirólisis continua es óptima ya que consume menor cantidad de energía eléctrica, y genera una menor huella de carbono con un valor de 1.93 kg CO₂ equivalente. Por lo tanto, se recomienda la aplicación del proceso de pirólisis continua a escala de laboratorio o a escala industrial.

Palabras claves: <PIRÓLISIS>, <HUELLA DE CARBONO>, <REACTOR>, <TRATAMIENTO>, <RENDIMIENTO>, <CO₂ EQUIVALENTE>.



0800-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

This study aimed to calculate the carbon footprint of the plastic waste pyrolysis process. In order to determine if the continuous or discontinuous pyrolysis process is a treatment that would help significantly reduce environmental contamination rates due to the incorrect handling of plastic waste, for which it was determined that the continuous pyrolysis process generates less amount of carbon footprint. The methodology dictated by the Ministry of Agriculture and Environment of Spain was used based on the ISO 14067, ISO 14069 standards. The emission factor for consumption was determined for the calculation in the discontinuous and continuous pyrolysis process. of electrical energy, later, the voltage of the elements that make up the equipment was measured. The electrical energy consumption data was obtained in 5 hours of treatment of 1 kg of polypropylene. Then, the carbon footprint of the discontinuous pyrolysis process was calculated following the regulations. Regarding the continuous pyrolysis process, the system based on a circulating fluidized bed reactor was chosen since it was found to be a more efficient system in terms of performance. Likewise, the continuous pyrolysis equipment's electrical energy consumption data was obtained to calculate the process's carbon footprint. Finally, the HC of the two processes was determined to determine that the continuous pyrolysis process is optimal since it consumes less electrical energy and generates a lower carbon footprint with a value of 1.93 kg CO₂ equivalent. Applying the continuous pyrolysis process on a laboratory or industrial scale is recommended.

Keywords: <PYROLYSIS>, <CARBON FOOTPRINT>, <REACTOR>, <TREATMENT>, <YIELD>, <CO₂ EQUIVALENT>.



Ing. Ángel Paul Obregón Mayorga, Mgs.

C.I. 060192712-2

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los productos plásticos han sustituido a la mayoría de los materiales que se han utilizado tradicionalmente por décadas, como los metales, cerámicas y maderas, en muchas de sus aplicaciones (Vázquez et al., 2020, p.8) es por ello que la producción de plásticos a nivel mundial ha aumentado una media de un 10 % anual (Solano, 2011, p.6). En Ecuador en el año 2019 se producían 336 ton/día de residuos plásticos de origen doméstico, industrial y agroindustrial, mientras que en la ciudad de Riobamba uno de los plásticos más utilizados es el polipropileno (PP), mismo que se genera alrededor del 18 % por año de residuos plásticos, del total de materiales reciclables. (Palmay et al., 2022, p. 3) Originando una problemática ambiental que tiene dos variantes: La explotación de recursos naturales no renovables, y además el tratamiento que se les da a este tipo de residuos y la disposición final de los residuos plásticos residuos (Vázquez et al., 2020, p.9).

Al tratar de buscar una solución a esta gran problemática, se han dado lugar al planteamiento de varias técnicas para el tratamiento de los residuos plásticos, entre ellas está en aprovechar la energía que posee el plástico y usarlo como combustible, ya que este tipo de residuos tiene un alto poder calorífico, y así poder obtener un beneficio de estos residuos que son elevadamente contaminantes para el ambiente. (Palmay et al., 2021, pp. 12-20). Una de las técnicas empleadas para el tratamiento de residuos plásticos es el proceso de pirólisis, el cual consiste en la descomposición térmica sin el uso de oxígeno, con temperaturas que se encuentran entre 400°C y 1000°C. (Palmay, et al., 2015, pp. 8-17) Al finalizar este proceso se obtiene como resultado una fracción gaseosa, líquida y sólida, mismas que son aprovechables. (Klug, 2012, pp. 14-17). Al realizar cada uno de los procedimientos que implica el proceso de pirólisis de residuos plásticos, se generan gases, mismos que pueden llegar a ser altamente contaminantes generando así preocupación, al no saber si este proceso de tratamiento es viable o no. Para poder estimar si este proceso puede ser aplicable a mediana y gran escala, se procede a calcular la huella de carbono de este proceso, término que en los últimos años ha salido a la luz como una descripción general de lo que corresponde a la emisión, comportamiento de gases de efecto invernadero totales, asociado a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, además la determinación de la huella de carbono va de la mano a la evaluación del ciclo de vida de un producto, además de estimar cada una de las emisiones de gases de efecto invernadero, emanadas en este caso por el proceso de pirólisis, mismos que son de gran preocupación ambiental. Por lo general la huella de carbono, su estudio se centra en el análisis de las emisiones de CO₂. Y expresarlo en toneladas o en kilogramos equivalentes (Vázquez et al., 2020, pp. 25-28) de emisiones de los gases de efecto invernadero emitida por persona o por cada actividad realizada.

En los últimos años se ha generado una gran preocupación, no solo a nivel local sino también a nivel internacional, ya que el cambio climático ha motivado a las organizaciones e instituciones

a tomar medidas para estudiar como interactúan en el ambiente los gases de efecto invernadero (Ferre et al., 2021, pp. 9-17). Considerando que la huella de carbono es uno de los mayores indicadores para determinar la cantidad de contaminantes emitidos a la atmosfera. (Palmay et al., 2015, citado en Bruno y Coronas, 2022, pp. 14-17), por ende, el interés en esta investigación por realizar el cálculo de la huella de carbono en el proceso de pirólisis de residuos plásticos.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la mayor cantidad de residuos plásticos están compuestos de una aleación de diferentes productos entre los cuales predomina el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno-tereftalato (PET) factor que dificulta la gestión adecuada de residuos por medio del reciclaje mecánico. (Hurley et al., 2013, pp. 1-8). Hoy en día existen procesos químicos para el tratamiento de residuos plásticos, uno de ellos es la pirólisis térmica, el cual es un método de descomposición termoquímica de sustancias enfocado a la solución de dos problemas que son: el aumento o la fluctuación de los precios del petróleo y las consecuencias de verter los residuos plásticos en los vertederos. (Vázquez et al., 2020, pp. 12-20). Los productos del proceso de pirólisis dependen en gran medida del tipo y el tamaño de la materia prima, la temperatura de pirólisis, el tiempo de residencia y la velocidad de calentamiento. (Klug, 2012, pp. 25-30). Este proceso, se encarga de transformar el plástico, en un biocombustible. La necesidad de realizar el cálculo de la huella de carbono para este proceso se da ya que no existen estudios previos sobre si este proceso es amigable con el ambiente. Al ser un proceso en el que se consume energía y emite gases, que, en grandes cantidades, son causantes del efecto invernadero. Por ende, al realizar un cálculo de la huella de carbono, la misma que se utiliza para determinar la incidencia del CO₂ en la contaminación ambiental. Buscando generar un precedente, y así poder valorizar si este proceso de pirólisis de residuos plásticos se convierte en una opción viable para el tratamiento de estos residuos, y así poder seguir utilizando este método en futuras investigaciones. Consiguiendo así, desarrollar de una mejor manera esta técnica de tratamiento de residuos plásticos, y llevarlos a una mayor escala de aplicabilidad.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

Los límites del presente trabajo se centran en la influencia del factor de emisión, dato que es necesario para calcular la huella de carbono para el proceso de pirólisis de residuos plásticos, además del deducir correctamente como aplicar las ecuaciones necesarias para obtener la Huella de carbono de este proceso térmico.

Otra de las limitaciones que tiene esta investigación, es la falta de estudios previos, con respecto a la pirólisis de residuos plásticos, por lo tanto, existe pocas fuentes bibliográficas con las cuales se pueda comparar los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono.

1.3. Problema general de investigación

El no correcto tratamiento de los residuos plásticos por la dificultad de su gestión y su crecimiento exponencial en los últimos años, mismo que ha dado origen a la aceleración de la contaminación ambiental y como consecuencia el calentamiento global, ha dado origen al planteamiento de innovadores procesos de tratamiento de los residuos plásticos. (Vázquez et al., 2020, pp. 14-16). La pirólisis de este tipo de residuos es una alternativa muy utilizada, no en gran escala en nuestro país, pero se busca evaluar si se puede aplicarse o no. Además, se busca verificar si es viable, amigable con el ambiente, ya que es un proceso que consume energía, por lo que se ha visto en la necesidad de realizar el cálculo de la huella de carbono, misma que nos dará una perspectiva de viabilidad o no de este proceso, al obtener los índices de emanación de carbono (Kg CO₂ equivalentes) (Palmay. et al., 2022, pp. 7-8) que se dan durante todo este proceso. Además de realizar una comparación entre el proceso de pirólisis discontinua y el proceso continuo, para así estimar cuál de los dos procesos es el más apto a ser aplicado en el tratamiento de los residuos plásticos, ya sea a escala de laboratorio, o a una gran escala.

1.4. Problemas específicos de investigación

- El factor de emisión para cada uno de los procesos que son esenciales para la realización del pirólisis de residuos plásticos.
- Los escasos de investigaciones previas realizadas con respecto al cálculo de la huella de carbono de residuos plásticos.
- El análisis de resultados.
- La decisión si el proceso es viable o no, y no genera contaminación ambiental.
- Determinar si el proceso Discontinuo o el proceso continuo es el más contaminante.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la huella de carbono de los procesos de pirólisis discontinuo y continuo de residuos plásticos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el factor de emisión necesario para el cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis continua y discontinua de residuos plásticos.
- Comparar la huella de carbono del proceso discontinuo y continuo de pirólisis de residuos plásticos (PP).
- Analizar cuál de los procesos de pirólisis, continuo o discontinuo tiene mayor incidencia en la huella de carbono.

1.6. Justificación

En la actualidad la mayoría de los productos que se consumen, vienen envueltos en diferentes tipos de plásticos, los cuales pasan a formar parte de la basura como residuos; aunque parte de estos son reciclados en polímeros de menor calidad para otros usos o son reutilizados, el mayor porcentaje de residuos plásticos pasa a los botaderos o se esparce generando gran contaminación (Nones, 2019, pp. 5-8). Debido a que su proceso de degradación es muy lento y toma muchos años. Alrededor del mundo se producen miles de millones de toneladas de residuos plásticos, por lo que se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para su tratamiento, buscando así disminuir los impactos ambientales que generan estos residuos. (Milgrom, 1975, pp. 16-17) Esta investigación se ve justificada desde el punto de vista ambiental y económico ya que el proceso de pirólisis ofrece una alternativa eficiente y limpia para el tratamiento de los residuos plásticos, que además de reducir la contaminación directa, tiene el beneficio adicional de producir combustibles más amigables con el ambiente. Además, el uso de residuos plásticos para generar combustibles significaría una nueva fuente de ingreso económico, en lugar de contaminar y producir daños irreparables a la naturaleza y al ecosistema. Con ese compromiso de buscar métodos alternativos de tratamiento de los residuos plásticos, es también necesario, como compromiso con el ambiente, realizar el cálculo de la huella de carbono, del proceso de pirólisis de residuos plásticos, ya que al ser un proceso que consume energía, es obvio que va a existir emanación de gases a la atmósfera. La huella de carbono es un indicador de la sostenibilidad de procesos unitarios, individuos, entidades o productos, mediante inventarios de emisiones de dióxido de carbono. Para el cálculo de la huella de carbono se tienen en cuenta todos los gases que agravan el problema del calentamiento global, para luego convertir los resultados obtenidos de cada gas de efecto invernadero (GEI) a equivalentes de CO₂, de ahí que los resultados obtenidos se definan como CO₂ equivalente. (Chavarría et al, 2016, pp. 6-11). Por eso la necesidad de dejar un precedente, y así analizar y discutir los resultados del cálculo de la huella de carbono de dicho proceso, para así estimar si es un proceso eficiente en cuanto a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, mismos que son perjudiciales para el ambiente, para poder tomar

decisiones en cuanto si se puede seguir utilizando este tratamiento (sea el proceso continuo o discontinuo) para los residuos plásticos o por lo contrario, (si la huella de carbono del proceso es elevada) dejar de utilizar este método y buscar nuevas alternativas de tratamiento para los residuos plásticos. Además de lo mencionado anteriormente, este trabajo investigativo es necesario para la innovación y desarrollo de proyectos enfocados en la carrera de ingeniería ambiental de la ESPOCH, el cual es enfocado en el cuidado y preservación del medio ambiente.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

En los últimos años, el aumento de la producción de plásticos ha sido evidente, ya que la mayoría de los productos que se encuentran en el mercado, tienen entre sus componentes, algún elemento de este material. (Dayan et al., 2017, pp. 7-10). La producción de este material ha generado, además un aumento exponencial de desechos plásticos, mismos que en el año 2020, se produjeron 407 millones de toneladas plásticas, lo cual es alarmante y ha preocupado a todo el mundo, ya que hoy en día no se da el correcto tratamiento a este tipo de residuos, convirtiéndose así en uno de los factores más relevantes para el aumento del calentamiento global, (Arandesmet et al., 2004, pp. 5-9) ya que la descomposición de los residuos plásticos se da en un lapso muy extenso de tiempo. Los residuos plásticos, generalmente son tratados para minimizar el impacto medioambiental que ocasionan, aplicando métodos que han sido efectivos para el tratamiento de estos residuos, y así dar una segunda opción de vida a los mismos (Ciencia, 2015, pp. 8-12). Uno de los procesos más empleados en el tratamiento de residuos plásticos, es el proceso de pirólisis, el cual recupera la energía calorífica que originan los plásticos al someterlos a un proceso de incineración. Dando como resultado la formación de hidrocarburos líquidos. (Palmay et al., 2022, p. 5). En todo este proceso de tratamiento, intervienen varios factores, los mismos que pueden generar gases contaminantes en cada una de las etapas que necesita la pirólisis, para que sea efectiva. La presente investigación centra su estudio en implementar el cálculo de la huella de carbono que generara este proceso. Buscando generar un precedente en cuanto a la generación de una base de datos correspondiente a cada uno de los procesos, etapas que se dan en este tratamiento termoquímico, para llegar a determinar si los gases, los elementos que se queman en la obtención de un biocombustible mediante la pirólisis de residuos plásticos, son amigables con el ambiente, buscando demostrar que el proceso es “limpio” y así poder seguir aplicando de una mejor manera el tratamiento de plásticos mediante el proceso de pirólisis.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Plásticos

Los plásticos son compuestos orgánicos, llamados también polímeros sintéticos, al ser derivados del petróleo, son materiales formados por la unión de moléculas de hidrocarburos denominadas monómeros. Los monómeros, a través del proceso de polimerización reaccionan formando cadenas largas, unidas principalmente por enlaces covalentes. (Palmay, 2022, pp. 17-19). Para mencionar una de las principales características que tienen los plásticos es que están constituidos por la repetición continua de una determinada unidad estructural, lo cual hace que su fabricación sea relativamente sencilla y de bajo costo. Además, poseen en su estructura elementos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, bromo y/o flúor. (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, p. 14)

2.2.2. Propiedades de los plásticos

Las propiedades de los plásticos varían en relación con el tipo de polímero que lo constituye, ya que su naturaleza química influye en ciertas particularidades, sin embargo, comparten de manera general las siguientes propiedades:

- **Plasticidad:** son materiales fáciles de trabajar y de moldear, motivo principal de su extensa aplicabilidad en cualquier campo.
- **Conductividad eléctrica:** la capacidad de los plásticos de conducir la electricidad es mala, de ahí su uso como aislantes eléctricos para cables.
- **Conductividad térmica:** al igual que la electricidad tampoco son buenos conductores del calor, ya que además de conducir una baja cantidad de calor, lo hacen de forma muy lenta.
- **Resistencia mecánica:** la ligereza que poseen les concede una alta resistencia a estiramientos, golpes y retorcimientos. (Dayan et al., 2019, p. 12)

2.2.2.1. Clasificación de los plásticos

Los plásticos, al ser polímeros de constitución variada, se pueden clasificar en base a diferentes parámetros como el tipo de degradación que sufren, el mecanismo de polimerización, según su estructura molecular, entre otros. Una de las clasificaciones más notables es la del comportamiento que sufren los plásticos cuando son sometidos a altas temperaturas. Por ende, los plásticos se clasifican en tres categorías: elastómeros, termoestables o termofijos y termoplásticos (Vázquez et al., 2020, p. 10).

- **Elastómeros**

Este tipo de plásticos presentan un comportamiento elástico, por lo cual pueden ser sometidos a deformación, sin que esta afecte su estructura o cause la ruptura de enlaces. Este tipo de plástico posee una poca resistencia al calor y al ser expuestos a temperaturas medias sufren degradación. Entre los plásticos más comunes se encuentran el neopreno, la silicona, goma natural, entre otros (Chavarria, 2015, p. 9).

- **Termoestables**

Poseen una estructura molecular reticulada, lo cual les confiere una gran rigidez. Estos plásticos, una vez terminado el proceso de moldeo cambian irreversiblemente, es decir, que no pueden ser reprocesados a su forma original debido a que no se ablandan al ser sometidos a una fuente de calor (Escuela Colombiana de Ingeniería 2008, p. 16). Dentro de sus características esta que presentan una buena resistencia química, son insolubles y no se pueden fundir. Ejemplos de plásticos pertenecientes a este grupo son: las resinas epóxicas y fenólicas, los PUR (Poliuretanos reciclados, el poliéster insaturado) (Vázquez et al., 2020, p. 7).

- **Termoplásticos**

Son polímeros de estructura lineal con o sin ramificaciones que están unidos a través de enlaces covalentes. Sus cadenas no presentan entrecruzamientos, estos además son solubles en determinados disolventes orgánicos. Poseen la capacidad de fundirse con un adecuado aporte de calor y de volver a su estado original una vez fríos. Al ser sometidos a altas temperaturas, las partículas que conforman este tipo de plásticos adquieren la libertad de moverse y modificar sus formas y posiciones, por esta característica los termoplásticos son materiales óptimos para someterlos al proceso de pirólisis (Dayan et al., 2019, p. 11).

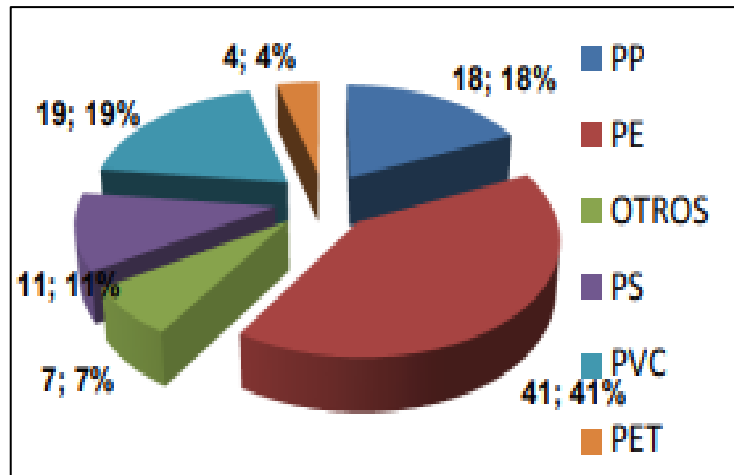


Ilustración 1-2: Producción mundial de termoplásticos





Realizado por: Barzola, Alex, 2023.




2.2.2.2. Residuos plásticos urbanos

En los últimos años la producción, consumo de productos plásticos ha ido incrementando exponencialmente, desde 1950 hasta el 2015 de manera constante en un 8.7 %, y en un aparatoso 23% entre los años 2008 y 2022, con proyecciones a la actualidad bastante alarmantes, llegando a tener actualmente alrededor de 400 millones de kilogramos de plástico. Esto se debe también al reducido porcentaje de reciclado, que a niveles globales solamente se acerca al 10% de la producción total, las proyecciones realizadas prevén que, en el 2050, 50×10^6 (Megatoneladas) de plásticos terminarán en botaderos o en el medio ambiente, provocando impactos ambientales considerables. Se ha podido estimar un impacto ambiental, hasta el 2025 de 1.78 Gt de CO₂ equivalentes (huella de carbono), tendiendo al incremento hasta 6.5 Gt de CO₂ equivalentes (Palmay, 2022, pP. 15-17). Es por eso por lo que, en la actualidad, el reciclaje / recuperación / gestión de los residuos sólidos plásticos (RSP), es un motivo de gran interés y elevada preocupación. Teniendo en cuenta que más del 50% de los plásticos producidos se utilizan para embalar, o artículos de un solo uso (desechables), lo que provoca una gran producción de residuos plásticos. Hoy en día, en la ciudad de Riobamba la generación de residuos plásticos corresponde al 10.82%. En la ciudad se generan 168 toneladas diarias de desechos sólidos, generando así una producción per cápita de 0.60 kg/hab/día, tomando en cuenta que el número aproximado de habitantes en la ciudad de Riobamba es de 264000.(Palmay et al., 2022, Pp. 11-14).

2.2.2.3. Clasificación de los termoplásticos

Tabla 1-2: Clasificación de los termoplásticos

| NOMBRE/CÓDIGO | GENERALIDADES/USOS | PROPIEDADES | APLICACIONES |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Poliuretano Tereftalato (PET)</p>  <p>PET</p> | <p>Es transparente, lavable y no absorbe la humedad. La gran mayoría de este plástico termina en botellas de bebidas moldeadas por inyección.</p> | <p>Transparencia, fuerza/dureza, resistencia a la grasa y al calor.</p> | <p>Botellas plásticas para bebidas, recipientes muy transparentes, finos, verdes o cristal, medicamentos, agroquímicos, etc.</p> |
| <p>Poliuretano de alta densidad (PE-HD)</p>  <p>HDPE</p> | <p>Este termoplástico posee mejores propiedades de carácter mecánico que el PE-BD, ya que tiene mayor densidad. Presenta fácil manufactura y alta resistencia al impacto y a la abrasión. No soporta a potentes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico.</p> | <p>Resistente a las bajas temperaturas, posee elevada resistencia a la tensión, compresión y tracción. además, Es Impermeable</p> | <p>Recipientes para: detergentes, aditivos, shampoo, lácteos; Bolsas para supermercados; Envases para pintura.</p> |
| <p>Cloruro de polivinilo (PVC)</p>  <p>PVC</p> | <p>Posee una transparencia excelente, alta resistencia química, resistencia a la humedad, y buenas propiedades eléctricas. Las aplicaciones de este material están más centradas en la fabricación de tuberías.</p> | <p>Facilidad de mezclar, fuerza y dureza, la resistencia a grasa y aceites, la resistencia a los químicos, claridad, bajo costo.</p> | <p>Empaque de comida, botellas de champú, envases transparentes, semi-delgados. Utilizados para en aislamiento de cables, capas, fundas sangre, insumos médicos. Etc.</p> |
| <p>Poliuretano de Baja Densidad (LDPE)</p>  <p>LDPE</p> | <p>Tiene un reducido punto de fusión. Es utilizado para la manufactura de artículos flexibles, tales como fundas plásticas lonas publicitarias, el LDPE también es usado en la fabricación de tapas para envases de bebidas, se lo encuentra también en el revestimiento de alambres y cables ya que es capaz de brindar aislamiento eléctrico.</p> | <p>Procesamiento fácil, resistente a la humedad, flexible, y bajo costo.</p> | <p>Utilizado para empaques de alimentos congelados, también es usado para tubería y otros usos en la industria.</p> |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Polipropileno (PP)</p>  | <p>Levemente cristalino. Usado en una gran variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipos para uso de laboratorio, componentes automotrices. Posee una gran resistencia para una variedad de solventes químicos, así como contra sustancias alcalinas y ácidos.</p> | <p>Tiene una menor que el PE-BD. Su temperatura de fusión es más alta, y tiene una mayor resistencia a altas y a bajas temperaturas.</p> | <p>fabricación por inyección: juguetes, protecciones de automóviles, etc. Modelaje por soplado: todo tipo de botellas. Producción de fibras, tanto tejidas (tapetes) como no tejidas. Extrusión: de perfiles, láminas y tubos.</p> |
| <p>Poliestireno (PS)</p>  | <p>Este es un tipo de plástico muy versátil que puede ser duro o flexible. usualmente es claro, duro y frágil. Es de resistencia baja al vapor de agua, oxígeno y tiene un bajo punto de fusión</p> | <p>Usado para muchas aplicaciones, fácil manufactura, aislamiento y bajo costo.</p> | <p>Protección en: envolturas de alta resistencia, contenedores para microondas, tapas, botellas, bandejas y vasos.</p> |
| <p>Otras resinas como ABS, PC, etc.</p>  | <p>Este plástico es muy especial y cuando se utiliza este código en alguno de estos, es señal de que el empaque está hecho de una resina especial y distinto a los plásticos comunes.</p> | <p>Es característico únicamente del tipo de químico utilizado o puede ser una mezcla de resinas</p> | <p>Botellas de bebidas retornables, ciertos tipos de botellas de refrescos y salsas.</p> |

Fuente: (Palmay et al., 2021, pp. 17-19).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.3. Polipropileno pp

Se puede fabricar de diferentes formas; la forma en la que se produce afecta sus propiedades físicas ya que un bajo contenido de comonomeros altera su estructura y sus propiedades. Su punto de fusión es aproximadamente a 130 °C. Los usos principales dados al polipropileno son:

- Los homopolimeros se usan para termoformado y fibras orientadas.
- Los copolímeros aleatorios se usan para empaques de alimentos, químicos, productos de belleza, contenedores claros y empaques resistentes al calor.
- Los copolímeros en bloque se usan para filmes y hojas. (Arenas Guayazan 2019, p. 19)

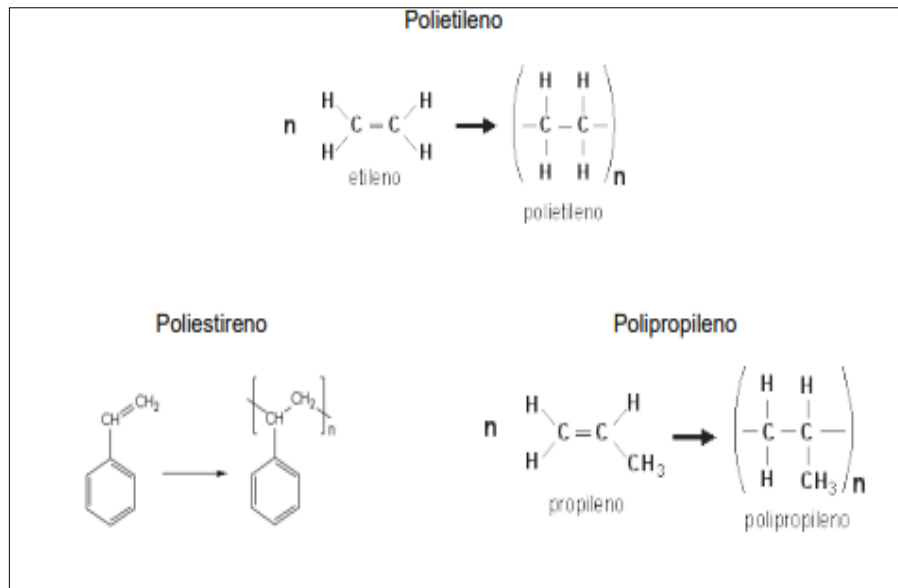


Ilustración 2-2: Estructura de poliolefinas formadas por alquenos simples

Fuente:(Franco et al., 2016, p. 14).

2.2.4. Propiedades físicas del polipropileno

Tabla 2-2: Propiedades físicas del polipropileno

| Propiedades físicas. | Valores más comunes |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ganancia de humedad | <0.1% |
| Índice de refracción | 1.49 |
| Densidad | 0.90 g/cm ³ |
| Conductividad térmica (a 20°C) | 0.140-0.220 W*m/°K |
| Coefficiente lineal de expansión térmica (20-60°C) | 100*10 ⁻⁶ C ⁻¹ |
| Calor de fusión | 21cal/g |
| Calor específico | 0.460 cal/g |
| Densidad del fundido a 180°C | 0.769g/cm ³ |
| Calor de combustión | 10725Kcal/Kg |
| Índice de oxígeno | 17400 |
| Rango de temperatura de descomposición | 328-410 °C |
| Constante dieléctrica | 2.250 KHz |
| Factor de disipación | < 0.0002% |
| Resistividad volumétrica específica | >10 ¹⁶ Ωcm |

Fuente: (Leslie, 2022, pp. 18-20).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

El Polipropileno (PP) es de forma ovalada, color blanco, la transparencia es translúcida. En su centro tiene un punto de color blanco y de transparencia opaca, como se observa en la Ilustración:

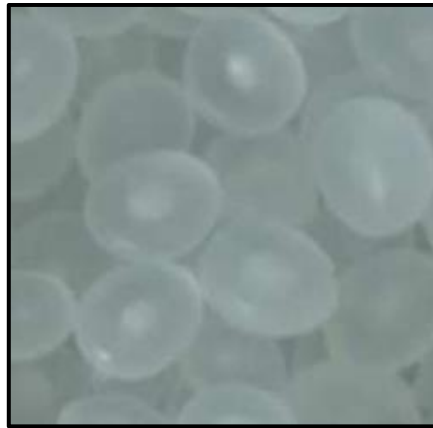


Ilustración 3-2: Polipropileno (PP)

Fuente: (Nones, 2019, p. 7).

2.2.5. Reciclaje de plásticos

La gran cantidad de residuos que existen en la actualidad y su adecuado manejo son los principales retos por los que la población mundial debe luchar, para así buscar un planeta más sustentable, para garantizar su vida útil. Existen diferentes estrategias para manejar los residuos plásticos, que buscan disminuir su cantidad y los impactos que generan al ambiente. La mejor opción es la reducción, los cuales buscan modificar los procesos, actividades y formas de consumo, de manera que se disminuya la elevada generación de estos residuos. Además, la reutilización, el reciclaje, la valorización energética, el tratamiento y la disposición en rellenos sanitarios son otras de las opciones que hoy en día son utilizadas para el reciclaje de plásticos. El exceso de plásticos en los residuos se ha ido incrementando de una manera exponencial en las últimas décadas. Esto obedece a distintas causas, entre las que destaca su utilización en productos plásticos de un solo uso, los mismos que son desechados rápidamente; se ha estimado que alrededor del 50% de los plásticos que se producen se destina a aplicaciones de un solo uso, entre 20 y 25% se emplean en la construcción y el resto en la fabricación de otros productos, como electrónicos, muebles y vehículos (Nones, 2019, pp. 8-14). Los residuos plásticos con gran cantidad de presencia en cuanto a la cantidad de residuos están el polietileno y el polipropileno (PP), debido a que representan la mayor proporción en los envases y embalajes. Además de los problemas asociados a su manejo, los residuos plásticos originan impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida (Chavarria, 2015, pp. 17-21). Uno de sus efectos más notables es el agotamiento de los recursos no renovables, ya que se calcula que 4% del petróleo y gas extraídos es utilizado como fuente principal para la elaboración de productos plásticos, y también se puede hablar de cantidades entre 3 y 4% para

producir la energía requerida en su procesamiento. Por tal motivo, ya que las características físicas y químicas, El correcto procesamiento de residuos plásticos es una opción sustentable para reducir el impacto ambiental causado por su uso desmedido. Otra de los enfoques es el reducir el costo del tratamiento de los residuos. La gran necesidad de nuevas materias primas y la cantidad de energía usada para su procesamiento. El reciclaje, en la mayoría de los casos, resulta muy desarrollable desde el punto de vista económico. Es importante aclarar también que, en el Ecuador, la industria de los materiales de ingeniería representa el 7% del PIB y de entre éstos, el 50% destinado a la industria de los plásticos.(Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, p. 24) El número de industrias transformadoras de plástico (es decir aquellas que fabrican piezas y objetos de plástico) ha ido creciendo exponencialmente, se reportan alrededor de 120 empresas en el país. Los utensilios plásticos poseen una menor resistencia a la fricción que la que poseen las herramientas metálicas, pero en cuanto a su peso son muy inferiores, por lo que se puede considerar que son materiales altamente competitivos.

2.2.5.1. Tipos de reciclaje de plásticos

- **Reciclaje primario o re-extrusión**

Este modo de reciclaje comúnmente es conocido como in situ, de periodo cerrado o reutilización. Se produce al reingresar los residuos, recortes y rebabas (de origen postindustrial), que se generan durante la producción. Este proceso es utilizado comúnmente en plantas productoras de artículos de plástico, ya que permite reaprovechar residuos limpios y claramente identificados, disminuyendo la necesidad de materias primas. El proceso en si es simple, pero para aplicarlo es necesario tomar en cuenta que se deben realizar ensayos que ayuden a definir la cantidad adecuada de material reciclado, de manera de que no se vean alteradas las características del producto final. (Nones, 2019, p. 20).

- **Reciclaje secundario o mecánico**

Es un proceso físico mediante el cual el plástico ya utilizado o el industrial es recuperado, permitiendo su posterior utilización en la transformación de un producto. El reciclaje secundario va direccionado principalmente a los plásticos termorresistentes, por la razón de que presentan una estructura molecular, que los permite ser manipulados con determinadas temperaturas y presiones distintas. Para que el reciclado mecánico pueda ser viable, de forma idónea, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La cantidad de plástico debe ser representativa, para que el proceso sea viable económicamente, en cuanto a resultados.

- Se deberían poder desmontar con facilidad y se debe clasificar en un solo tipo de plástico.
- Desestimar partículas extrañas que pudieran dañar los equipos de transformación o alterar las características del plástico.
- Que el material no tenga una excesiva degradación.

Este tipo de reciclaje es utilizado comúnmente en los centros de acopio, ya que es el método más económico para la mayoría de las empresas que se dedican al reciclaje de residuos plásticos, este proceso comprende:

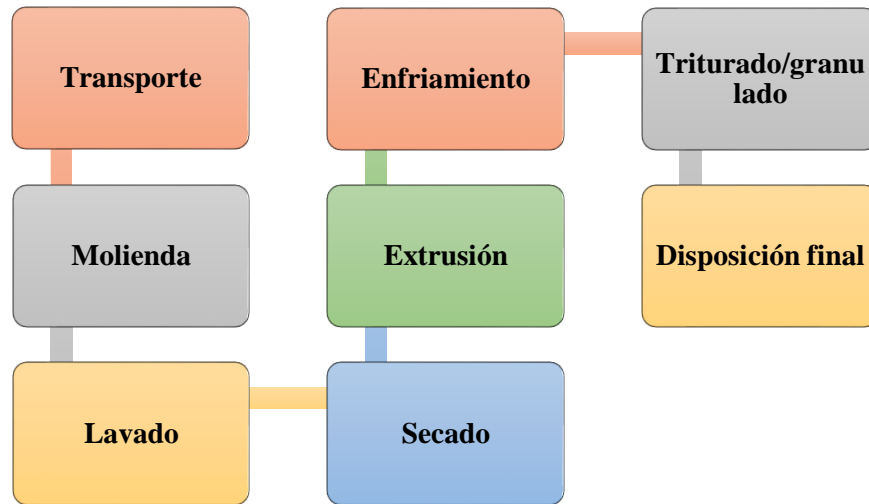


Ilustración 4-2: Línea de procesos

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

- **Reciclaje terciario o químico**

A este tipo de reciclaje novedoso se lo conoce también como despolimerización, este proceso se realiza mediante el conjunto de procesos térmicos en los que se suministra calor a los residuos plásticos, procurando controlar durante todo el proceso la cantidad de oxígeno suministrado y la aplicación de aditivos, para lograr una correcta separación de las moléculas del material. Entre las aplicaciones más importantes de este tipo de tratamiento térmico se encuentra la pirólisis, el proceso de gasificación, la adición de hidrogeno, y el cracking catalítico. En estos procesos se tiene como producto un gas con una elevada capacidad calórica, de un producto liquido usado como aditivo y generalmente de carbón (Solano, 2011, p. 17).

2.2.5.2. Pirólisis

Es el proceso en el cual se lleva cabo una separación termoquímica de las moléculas más grandes presentes en los residuos plásticos para obtener compuestos de cadena corta o de un más bajo

peso molecular. Esta separación se realiza a altas temperaturas, y sin el suministro de oxígeno, obteniendo así en el fin de este proceso fracciones sólidas, líquidas y gaseosas (Palmay et al. 2022, p. 7-8). Las altas temperaturas que alcanzan en el proceso de pirólisis permiten incrementar la interacción de las moléculas, provocando una ruptura de enlaces. De esta forma, los compuestos usados para elaborar el plástico pueden ser obtenidos nuevamente en un proceso de ingeniería inversa (Palmay, 2022, p. 19). El fin de que este proceso sea sin el suministro de oxígeno, es el generar una atmósfera inerte sin medios oxidantes, ya que el oxígeno podría dar lugar a explosiones, en el caso de que llegara a interactuar con otras moléculas presentes en el proceso, además de que podría causar que el proceso de pirólisis sea ineficiente. Una de las ventajas más características, al realizar pirólisis con residuos plásticos, es la variedad de aplicaciones que se puede dar a este tratamiento, ya que no solo se pueden tratar termoplásticos sino también aplicarlo en materiales termoestables, ya que este proceso reduce los índices de contaminación en aproximadamente un 15-20%, dato que nos estaría dando a conocer que este proceso no contamina, por lo tanto, sería amigable con el ambiente, considerándolo un proceso de tratamiento efectivo (Palmay et al., 2022, p. 16). El proceso puede desarrollarse en dos condiciones diferentes, la primera, consiste en el calentamiento en ausencia de oxígeno, conocido como pirólisis térmica, y la segunda que desarrolla el mismo proceso, pero agregando un catalizador, conocida como pirólisis catalítica. Cabe recalcar que únicamente se puede obtener combustible líquido con la pirólisis de termoplásticos como PE, PP y PS (Klug, 2012, p. 14).

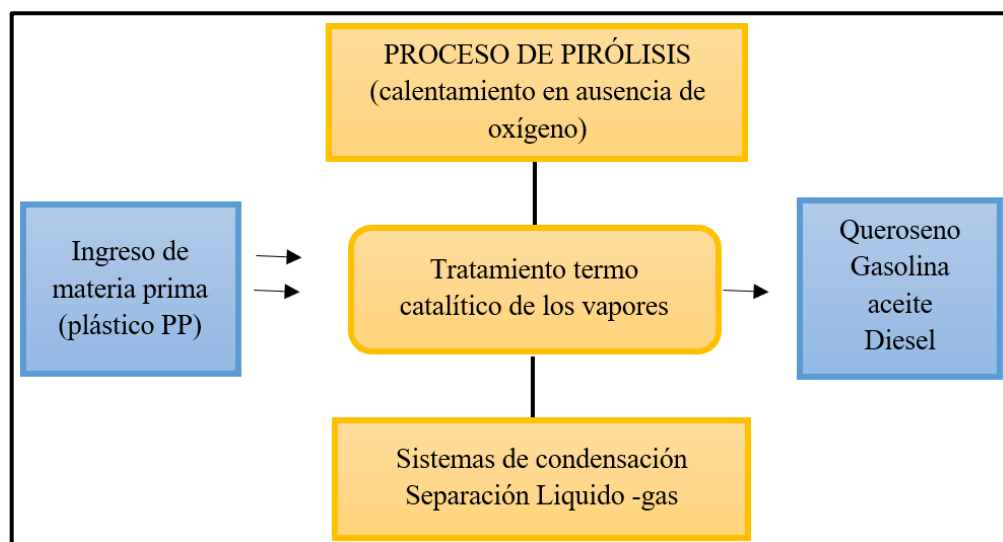


Ilustración 5-2: Línea de procesos

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.5.3. Pirólisis térmico

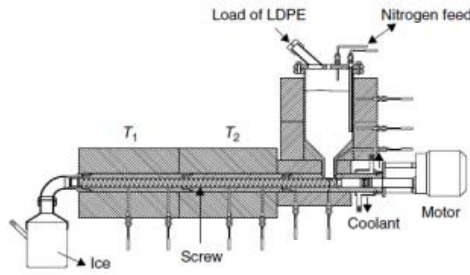
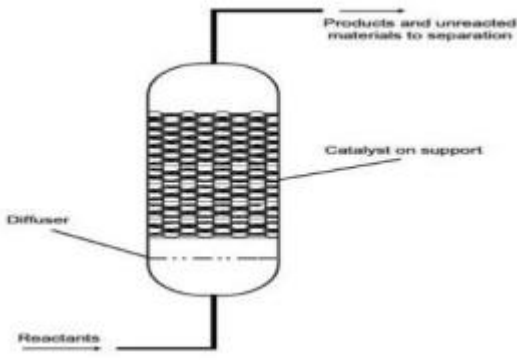
Este tipo de pirólisis es conocido como termólisis, este proceso de degradación térmica de residuos plásticos se caracteriza por trabajar a condiciones de atmósfera inerte, el cual consiste en la adición progresiva de calor hacia los plásticos, evaluándolo también como un proceso que emana mucho calor, es importante recalcar que, en la pirólisis térmica, la temperatura tiene un rol crucial ya que el proceso se da en ausencia de oxígeno. (Pinatoja, 2018, pp. 10-11). En este proceso los residuos plásticos ingresados inicialmente son degradados, mediante reacciones inter e intramoleculares, a estructuras más simples, que a su vez se descomponen en estructuras terciarias y así sucesivamente hasta finalmente obtener los productos finales del proceso de pirólisis. (Gurav et al., 2021, pp. 14-16) Este proceso para que sea óptimo, requiere temperaturas de 350 a 650 °C, dependiendo del plástico a degradar. En casos particulares se requieren temperaturas de hasta 900 °C para llegar a obtener buenos resultados del proceso. La mayoría de estudios se han realizado enfocados en el comportamiento y la respuesta al proceso de pirólisis de materiales como: Polietileno, Poliestireno y polipropileno tanto virgen como de residuos (Palmay et al., 2022, pp. 25-26).

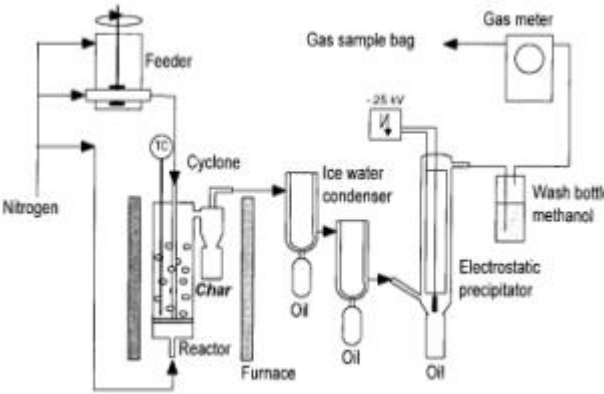

2.2.5.4. Temperatura en el proceso de pirólisis

La temperatura, es considerada uno de los factores de operación más importantes en este tipo de tratamiento, ya que contribuye a identificar, tanto la velocidad de descomposición térmica como la estabilidad, respuesta del residuo plástico y los productos obtenidos. Las altas temperaturas (>600°C) son favorables para la producción de moléculas gaseosas simples, ya que si la temperatura es incrementada, se da origen a un fenómeno de degradación térmica lo que multiplica el rango de productos obtenidos, además ayuda a que las reacciones se aceleren, por lo tanto se cuantifica una mayor cantidad de gases y reacciones en cadena y descomposición: por lo contrario en el caso de que el equipo no logre llegar a elevar el proceso a altas temperaturas, y se trabaje a condiciones de baja temperatura, (<400°C) la calidad de los productos al observarlos se tornan más viscosos, además en el proceso se observa la formación de coque y otros productos secundarios. (Palmay 2022, p. 22). Aunque estas condiciones de bajas temperaturas no son tan comunes. Para generalizar las condiciones más óptimas de este proceso, se menciona que las mismas van en temperaturas desde 300 a 1000°C, este rango de temperaturas varía de acuerdo con el tipo de plástico a pirolisar y de las condiciones de operación. Además, se ha llegado a concluir que, a temperaturas menores de 500°C, temperaturas bajas, se presenta una mayor producción de aceite, por lo contrario, a temperaturas altas, mayores a 600°C, la generación de gases es predominante (Pinatoja 2018, p. 32).

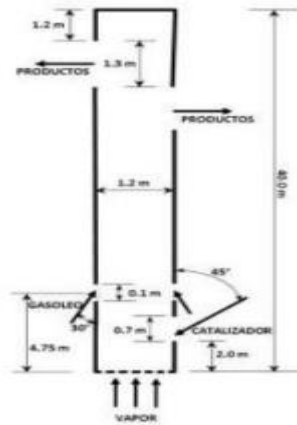
2.2.5.5. Tipos de reactores

Tabla 3-2: Tipos de reactores

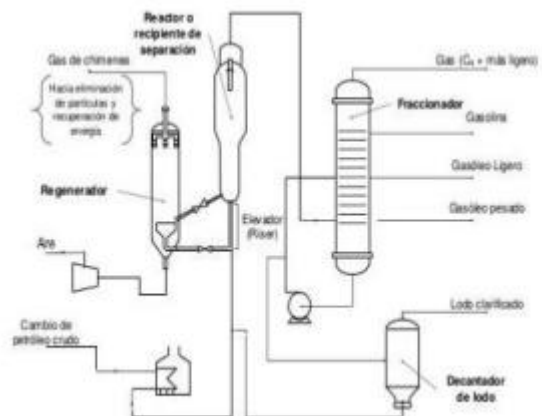
| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Reactor de tornillo. - El reactor de tornillo posee dentro de su estructura un tornillo sin fin el cual se encarga de mover el plástico por el interior de sus caramas de calefacción mediante un movimiento circular frecuente.</p> | |
| <p>Reactor de extrusión. - El reactor extrusor tiene un funcionamiento semejante al reactor de tornillo pues en su interior contiene un tornillo sin fin que transporta la materia prima a través una recámara caliente, cuando se alcanza la temperatura de fusión el plástico ingresa a reactor extrusor donde es sometido a una separación térmica primaria.</p> |  |
| <p>Reactor de tanque agitado. - este reactor disminuye la dificultad el manejo de fluidos viscosos, con una elevada generación de fracciones líquidas y gaseosas, ya que posee en su estructura un mecanismo de agitación que agita la materia prima.</p> | |
| <p>Reactor de lecho fijo. - este tipo de reactor se considera uno de los más difíciles en cuanto al control de la temperatura, específicamente en los equipos que trabajan en una escala industrial debido a que no tienen una buena conductividad térmica en este caso de los residuos plásticos, generando puntos variantes de</p> |  |

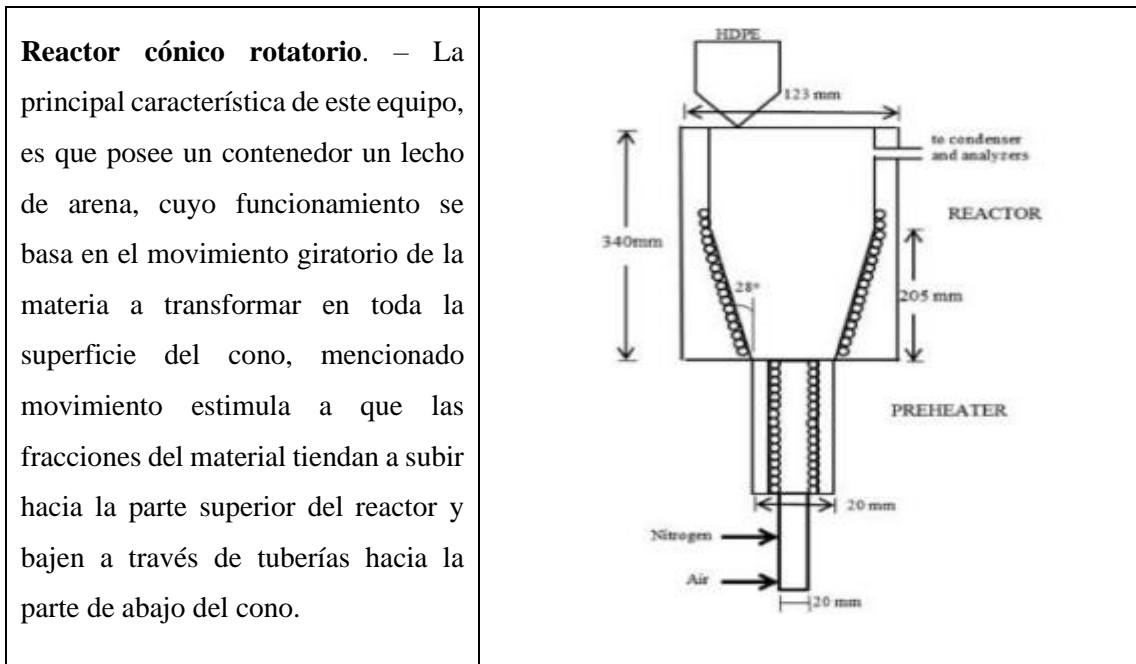
| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>temperatura, mismos que afectan al rendimiento de la pirólisis.</p> | |
| <p>Reactor de lecho fluidizado. – Este equipo utiliza como herramienta principal a la temperatura para la activación química del proceso, además se pueden utilizar una gran variedad de catalizadores. Este equipo es muy utilizado para la degradación de poliestireno, polipropileno, polimetilmetacrilato, mezcla de polímeros plásticos, cauchos, llantas, lubricantes sintéticos y minerales. La ventaja de este equipo es que favorece la recirculación del fluido durante la reacción, mejora la degradación del material, por ende, este reactor es uno de los más aplicados a gran y pequeña escala para los procesos de pirólisis, ya que el RLFC, que origina movimiento recirculantes gracias a las tuberías externas.</p> |  |
| <p>Autoclave. – El autoclave es un reactor, cuyo funcionamiento se basa en la descomposición térmica, además del uso de condiciones puntuales de presión las mismas que deben ser estrictamente controladas, ya que las mismas no pueden variar durante el proceso. Y así garantizar el rendimiento en cuanto a los productos deseados.</p> |  |

Reactor riser. - este equipo funciona con la generación de un vacío el cual se genera un ambiente de circulación interna del residuo plástico, el vacío que se logra generar por el movimiento de las turbinas ubicadas en el interior del equipo, dan origen a que el plástico busque la superficie y también baje hacia el fondo del reactor, formando corrientes internas.



Reactor de craqueo catalítico fluidizado FCC. - es un equipo utilizado para el proceso de refinación de crudo, el mismo que está formado por tres unidades: conversión, separación y estabilización. Es un equipo que se utiliza para el proceso de pirólisis de carácter catalítico, cuyo beneficio principal es que optimiza el mejoramiento del proceso. Como su nombre lo indica, para el óptimo funcionamiento del reactor, se utilizan catalizadores los que a lo largo del trabajo van perdiendo su efecto, ya que por el proceso se generan gases de alto contenido tóxico, por la presencia de metales pesados y carbón.





Fuente: (Palmay, 2022, pp. 38-40).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.6. Pirólisis discontinua y pirólisis continua

Los procesos de pirólisis discontinua y continua se diferencian del tipo de reactor que se utiliza, en el proceso. Para el tratamiento de los residuos plásticos se han realizado estudios anteriores en el que interviene el proceso discontinuo, mismo que ha mostrado muchos problemas preocupantes, como son el tiempo de residencia, las inconsistencias en el producto final, además del costo alto de mano de obra y la dificultad de ser aplicado a escala industrial. (López et al. 2010, p. 23-24). Hoy en día los estudios en cuanto al tratamiento de residuos plásticos, se están centrando en el proceso de pirólisis continua, ya que se ha demostrado que las tasas de producción son más altas, además se puede industrializar el proceso. Este proceso es mucho más eficiente que el discontinua ya que la extracción in situ de los productos es relativamente más fácil.

2.2.6.1. Pirólisis discontinua

Este tipo de pirólisis es utilizado en la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, el cual es un sistema cerrado en el que los reactivos y productos permanecen dentro del reactor durante un periodo de tiempo (5 horas) mientras se lleva a cabo la reacción. Este proceso tiene sus ventajas, ya que se podría llamar un proceso más simple, ya que no necesita una bomba de alta presión, ni un compresor, y puede ser usado con todo tipo de biomasa. Las desventajas de este proceso, por lo general radican en que se ocupa un tiempo de reacción prolongado, además el producto puede presentar inconsistencias (Palmay et al., 2022, p. 14).



Ilustración 6-2: Equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)

Realizado por: (Palmay et al. 2022).

2.2.6.2. Pirólisis continua

La pirólisis continuo (rápida), es un proceso que se da a una alta temperatura en el que el plástico (PP), (con una humedad menor al 10%) se eleva la temperatura rápidamente sin la presencia de oxígeno. El plástico se degrada, generando gran cantidad de gases, y carbón en una cantidad menor. Posteriormente después del proceso de refrigeración, y la condensación de los gases se obtiene una fracción líquida, mismo que tiene color café oscuro con una capacidad calorífica semejante a casi el 50% de la que tiene el aceite utilizado para automotores convencionales. Este aceite es recomendable utilizarlo como aditivo automotriz. (Gómez et al., 2008, p. 5). Se considera que Este proceso es más óptimo, ya que, durante el proceso, el operador del equipo puede seguir alimentando de materia prima durante la reacción se está realizando, sin necesidad de apagar el equipo, ni esperar un tiempo prolongado hasta que el equipo se enfrié para así poder alimentarlo con más materia prima. Por ende, este proceso es más eficiente y estable, además su operación es mucho más fácil (Esaclona et al., 2010, pp. 3-4).

Como se había mencionado, la eficiencia del proceso de pirólisis radica en el tipo de reactor que se utiliza para el mismo, considerando a los más adecuados para este tratamiento a los siguientes reactores:

- Reactor de lecho fluidizado Burbujeante (BFB)
- Reactor de lecho fluidizado circulante (CFB)
- Reactor de lecho con chorro circulante (CSB)
- Reactor de cono Rotatorio (RC)

- Reactor ablativo
- Reactor de tornillo/barrena

2.2.7. Reactor de lecho fluidizado circulante

Entre estos reactores señalados, se encontró que el reactor de lecho fluidizado circulante es la opción más factible para llevar a cabo el proceso de pirólisis de residuos plásticos (Hernández 2007, p. 10); reporto un desempeño estable con una importante cantidad de rendimiento en cuanto a líquidos, generalmente un 70-75% en peso del plástico utilizado para arrancar con la pirólisis.

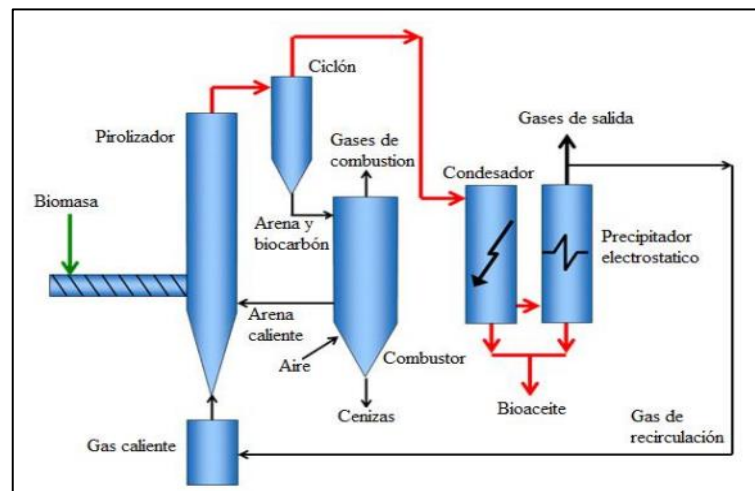


Ilustración 7-2: Esquema general Sistema de pirólisis en RLFC

Realizado por: (Qureshi et al., 2018, p. 84).

Al analizar cada una de las partes que componen el reactor de lecho fluidizado circulante, se observó que se tiene mayores ventajas en comparación con el sistema de pirólisis discontinua, tales como:

1. Eliminación de fuentes externa de calor para la realización del proceso, ya que el calor es obtenido por la oxidación casi total de la materia prima suministrada al reactor, lo que disminuye también el consumo de energía.
2. Los gases generados son rápidamente enfriados, condensados y separados de los gases incondensables ya que poseen un sistema de condensación por ciclones.
3. Optimo intercambio entre el gas y las partículas en el lecho mejorando la circulación del gas.
4. Elevada transmisión de calor y movimiento de masa.
5. Desarrolla una capacidad de mezcla homogénea en el reactor
6. Elevada productividad, y baja perdida de energía, debido a que sólo algunas partes del reactor son móviles (Hernández, 2007, p. 29).

2.2.8. Recomendaciones importantes para la pirólisis continua con un (RLFC)

- Este proceso de pirólisis rápida ayuda al secado del plástico (mismo que debe contener menos de 10% de agua), ya que así garantizamos que el aceite que se tiene como producto contenga muy poca cantidad de agua.
- Se recomienda triturar adecuadamente el polipropileno para tener así partículas lo más semejantes en cuanto a tamaño, para así poder asegurar una proceso de pirólisis mucho más rápida.
- Se puede utilizar cualquier tipo de materia prima para el proceso de pirólisis continua.
- Para este proceso de pirólisis continua se requiere un ambiente sin oxígeno dentro del reactor y una escala de temperaturas que va entre 475 y 550°C
- Las paredes del reactor deben garantizar que no haya a posibilidad de ingreso de oxígeno, ya que podría ocasionar una degradación del plástico sin producir aceite. (Hernández 2007, p. 21)

2.2.9. Productos del proceso de pirólisis

Tabla 4-2: Productos del proceso de pirólisis

| Proceso | Velocidad de calentamiento. | Tiempo de residencia | Temperatura °C | Productos. |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|
| Pirólisis discontinua | 10-100Kg/min | 10-60 min | 450-600 | Gas, aceite. Carbón. |
| Pirólisis Continua | >1000Kg/s | 0.5-5s | 550-650 | Gas, aceite. Carbón. |

Fuente: (Palmay et al., 2021, pp. 11-12).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.10. Gases de efecto invernadero

Los cambios climáticos que se han dado durante un periodo de 4.600 millones han sido los causantes de que la Tierra se vea acechada por una gran cantidad de eventos climáticos, como el incremento significativo de la temperatura, además de la perdida constante de los glaciales, eventos considerados como los principales epicentros del calentamiento global. Por lo que, los últimos años, el calentamiento global ha ido en aumento debido a la altísima presencia y acumulación de Gases de Efecto Invernadero (FONCODES, 2014, p. 12). Al hablar de estos gases indirectamente nos redireccionamos a problemas de carácter ambiental, mismos que van de la mano con problemas en la salud humana.

Tabla 5-2: Gases de efecto invernadero

| GASES DE EFECTO INVERNADERO | FUENTE |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dióxido de Carbono (CO₂) | Uno de los principales gases de efecto invernadero, generado por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón, etc.). Este gas de invernadero también ayuda a mantener una temperatura constante en el interior de la tierra, pero, hoy en día, es el causante de aproximadamente el 76 % del calentamiento global. |
| Metano (CH₄) | Este gas, es producido por la combustión de combustibles derivados del petróleo, también el metano se produce en las fosas de petróleo, minas de carbón, zonas de producción de arroz y por la por las ese de los animales. |
| Óxido Nitroso N₂O | Este gas es expulsado durante la combustión de vehículo que utilizan el Diesel, además por el uso de fertilizantes con contenidos de Nitrógeno. |
| Vapor de Agua (H₂O) | Evaporación, hervir agua o por sublimación del hielo. |
| Hidrofluorocarbonos o HFC | Este gas es ampliamente utilizado en la elaboración de aerosoles, además como aditivo, refrigerantes. Industriales y de uso doméstico. |
| Perfluorocarbonos o PFC | Se produce en la minería, extracciones de aluminio aplicando electrólisis. |
| Hexafluoruro de azufre o SF₆ | Se ha encontrado este gas en la producción de magnesio |

Fuente: (Palmay 2022, p. 21-23).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.11. Cambio climático

A partir de la revolución industrial se ha venido emanando a la tierra gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), mismos que han ocasionado que se deteriore la capa de ozono, ocasionando que se intensifique el efecto invernadero, una de las consecuencias más evidentes en los últimos años es el incremento de la temperatura media en todo el globo terráqueo. Este incremento de temperatura ha dado origen también a otras modificaciones climáticas como el desgaste de capas de hielo de los polos, modificaciones en la disposición de flora y fauna, fenómenos climáticos catastróficos como prolongados períodos de sequías o lluvias torrenciales, otro de los factores que se han venido estudiando últimamente es la disminución del pH de los océanos, causando una acidificación, lo que causa la muerte de especies marinas, esto se ha venido dando debido a la capacidad que tiene el mar de absorber CO₂ de la atmósfera, estas alteraciones son solamente algunas de las podría citar, lo importante es generar conciencia y cuidar de una mejor manera el ambiente. (FOESA, 2013, p. 16). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha venido realizando proyecciones de las emisiones de GEI buscando evaluar los problemas que puede ocasionar el calentamiento global en las próximas décadas, tomando en cuenta la incidencia de factores poblacionales, avances tecnológicos y situación económica, deduciendo que se prevé un incremento de las emisiones de GEI en todo el mundo, en niveles que van en rangos del 25 al 90% para un periodo de tiempo que va entre los años 2000 y 2030 (IPCC, 2016, p. 12).

2.2.12. Huella de carbono (HC)

La huella de carbono (HC) es un indicador ambiental de la cantidad de gases contaminantes, causantes del efecto invernadero, mismos que son expulsados por actividades industriales o durante el ciclo de vida de un producto o también a lo largo de la producción de algún producto en el que se consuma energía. Para el cálculo de la huella de carbono, también se incluye los índices de consumo energético, lo que se tiene en el caso de los equipos de pirólisis térmica utilizados en esta investigación. La HC, para su estudio toma en cuenta a los 6 gases de efecto invernadero, los mismos que son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Para esta investigación, se tomó en cuenta solamente al CO₂. (Cánovas, 2021, p. 7-9) por la razón de que la huella de carbono se cuantifica en toneladas o Kilogramos equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e, Kg Co₂e), con el fin de así poder cuantificar, y evaluar los efectos que pueden seguir causando las emisiones ocasionadas por los gases de efecto invernadero. Así la huella de carbono ayuda a reducir dichas emisiones, con la estimación de la cantidad de dióxido de carbono que es

generada por la producción, consumo de un determinado producto: generando así oportunidades de ahorro y reutilización de productos que creíamos eran de un solo uso. (FOESA, 2013, pp. 5-11)

2.2.12.1. Huella de carbono de un producto

La huella de carbono del producto, según la nueva ISO 14067, es la recopilación de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son el resultado de un proceso de elaboración de determinado producto, los valores de esta huella de carbono son expresadas en CO₂ equivalentes tomando en cuenta una evaluación del ciclo de vida del producto, aplicando como el fin del estudio todos los impactos generados, y la magnitud del impacto que tienen los gases en el cambio climático. Tanto la PAS 2050 como la ISO 14067 (normas en las que se basa el cálculo de la huella de carbono para la presente investigación), son las que mejores resultados nos expresan, con respecto al cálculo de la huella de carbono del producto mediante el cumulo de toda la información que se obtiene durante el tiempo que se aplica determinado proceso, sobre los consumos de materia y energía que se va dando durante cada una de las etapas por las que va pasando la materia prima, en este caso el polipropileno, hasta llegar a obtener los productos. Expresando los resultados obtenidos en Kg o toneladas de emisiones de CO₂ equivalentes. Uno de los principales problemas que por lo general se dan para realizar el cálculo, radica en el levantamiento de datos correspondientes a los consumos de materia y energía, ya que de la precisión de estos depende la precisión del resultado final. (Frohmann y Olmos, 2013, pp. 21-23)

2.2.12.2. Principales metodologías para el cálculo de la huella de carbono de un producto

Tabla 6-2: Metodologías para el cálculo de la huella de carbono de un producto

| METODOLOGÍA | ÁMBITO DE APLICACIÓN | ENFOQUE |
|------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
| Carbon Footprint program | Aplicable en Japón de carácter voluntario. | Producto |
| Carbon Index Casino | Aplicación en Francia voluntariamente. | Producto |
| Climate Certification System | Aplicación en Suecia de carácter voluntaria. | Producto |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|
| GHG Protocol-product Life Cycle Accounting and Reporting Standard | Es de aplicación global y de carácter voluntario. | Producto |
| ISO 14067 | Es de aplicación global y de carácter voluntario. | Producto |

Fuente: (FOESA 2013, p. 21).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

2.2.12.3. Factor de emisión

Este factor es muy importante, se podría decir que encontrarlos resulta un tanto complicado, ya que de estos depende el éxito en el cálculo de la huella de carbono. El factor de emisión nos ayuda a transformar el nivel de actividad en emisiones. Los factores de emisión son emitidos por diferentes entidades, ya sean entidades gubernamentales o entidades internacionales. Estos factores son específicos a las fuentes; por ejemplo, el factor de emisión para el consumo de energía eléctrica o consumo de combustibles derivados del petróleo no son los mismos en todos los países, ya que depende del consumo que tenga el equipo, tiempo de utilización, etc. (FOESA, 2013, p. 18). Sin embargo, las emisiones de gases de invernadero: (CO₂, CH₄ y N₂O), tienen factores de emisión específicos. (Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases efecto invernadero, 2021, p. 14). Una de las normas más importantes, que regulan los factores de emisión AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emisión Factors) la cual ayuda a la estimación de las emisiones de contaminantes a la atmosfera, además brinda la información de los factores de emisión para varias actividades industriales, o por tipo de proceso. Esta norma fue publicada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. (EPA, 2011, p. 7).

2.2.12.4. Dióxido de carbono equivalente

El dióxido de carbono equivalente es una medida universal que es usada para indicar en términos de CO₂, el potencial de contaminación que tienen los gases de efecto invernadero, y del efecto que puede causar los mismos si existen niveles elevados de CO₂ equivalente en la atmosfera. también estos datos, que son el resultado del cálculo de la huella de carbono, se utilizan para poder evaluar impactos ambientales, para así lograr evitar o controlar la emisión de estos gases, proponiendo nuevos métodos de tratamiento para diferentes tipos de residuos o productos, mismos que no son tratados de una manera correcta (Chavarría-Solera et al. 2016, p. 10).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización del estudio

Se lo realizó en los laboratorios de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, aprovechando que en el lugar existe el equipo de pirólisis, además se permite la utilización de los equipos, de igual manera la competencia de los técnicos de laboratorio al guiar en la realización de los análisis y prácticas que se requieran.

Tabla 1-3: Ubicación y características geográficas de la ESPOCH

| | |
|--------------------|-----------------------------|
| Provincia | Chimborazo |
| Cantón | Riobamba |
| Altitud | 2815 m.s.n.m. |
| Coordenadas | 78°40'20' |
| Ubicación | Av. Panamericana Sur km 1 ½ |

Fuente: (Google Maps, 2022).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

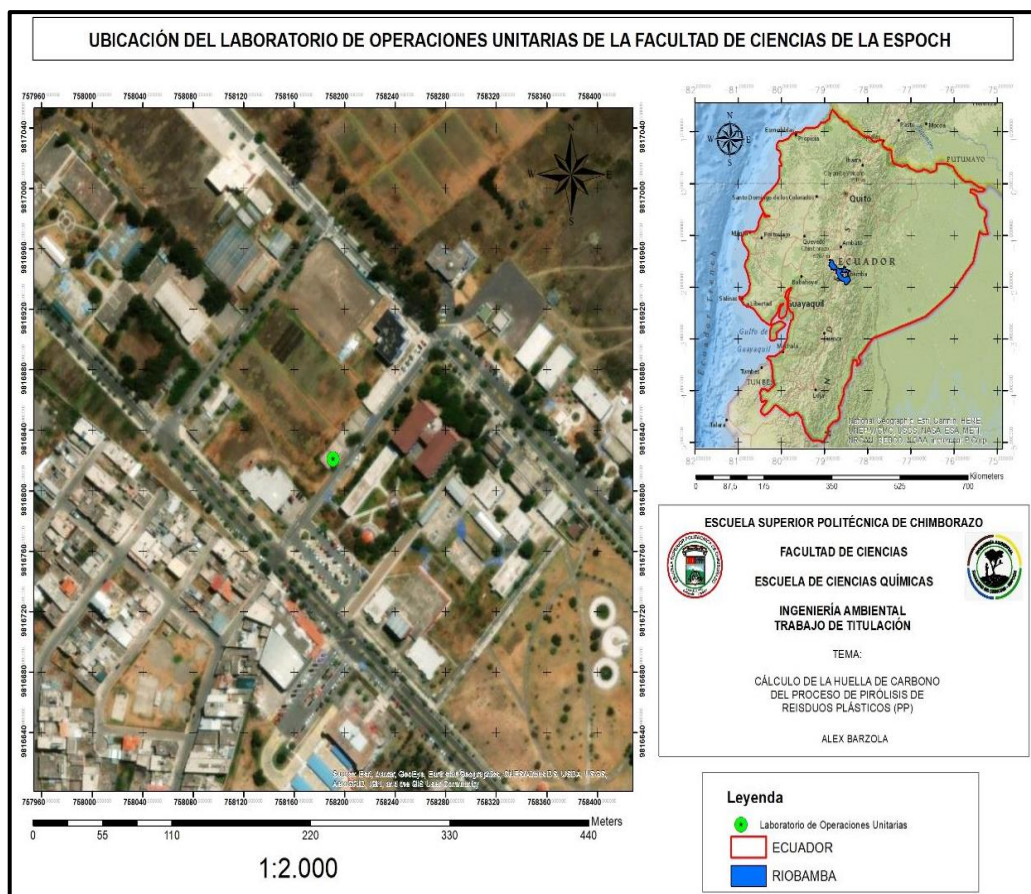


Ilustración 1-3: Localización geográfica del lab. De operaciones unitarias ESPOCH

Fuente: (Google Maps, 2022).

3.2. Enfoque de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que, al calcular la huella de carbono, podemos tener datos referenciales de la emanación de CO₂ a la atmósfera, en el desarrollo del proceso de degradación térmica, llegando así a determinar si el proceso de pirólisis de Polipropileno es óptimo para el tratamiento de este tipo de residuos, y marcar un precedente para la aplicabilidad o no del proceso de pirólisis en el tratamiento de residuos plásticos.

3.3. Nivel de la investigación

La investigación se encuentra dentro del nivel aplicativo ya que tiene por objetivo determinar la huella de carbono, la misma que se mide en Kg de CO₂ emitidas a la atmósfera. Para el cálculo de la huella de carbono se utilizó la metodología desarrollada por el ministerio para la transición ecológica española, misma que da una guía práctica de como calcular la huella de carbono, con respecto a un proceso, en este caso, desde la etapa de reciclaje de residuos plásticos, hasta su tratamiento a través de pirólisis. Permitiendo de esta forma analizar los resultados de cada uno de

los gases emitidos durante el proceso, para así poder cuantificar si los niveles de emisión son apropiados para que este proceso térmico sea aplicable para el tratamiento de residuos plásticos. Además, a esta investigación se adiciona un carácter descriptivo, ya que se recopilará información de procesos desarrollados anteriormente, y así utilizar dichos datos para la evaluación de la huella de carbono del proceso mencionado anteriormente.

3.4. Tipo de estudio

El presente proyecto del cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis de residuos plásticos (polipropileno) es de tipo investigativo, mismo que complementa a investigaciones y experimentaciones teórico y práctico, realizadas en la ESPOCH. Buscando determinar las variables, datos de consumo de energía dentro de cada etapa del proceso de pirólisis. La huella de carbono que se busca obtener dará una perspectiva acerca de si este tratamiento térmico, contribuye a la reducción de la contaminación ambiental. además de la aplicabilidad de este a escala industrial, utilizando un proceso continuo o discontinuo.

3.5. Estudio experimental

Para la determinación de la Huella de carbono del proceso de pirólisis continua y discontinua de residuos plásticos, se necesita un conocer cada uno de los procesos y operaciones que se requiere para llevarse a cabo el tratamiento como: La cantidad de energía eléctrica utilizada para dar funcionamiento al equipo, el uso de bombas, sistemas de refrigeración, recirculación, mismos que son esenciales para que el rendimiento del proceso sea el óptimo. De esta manera se va cuantificando cada uno de los productos derivados del proceso antes mencionado, para posteriormente aplicando la metodología existente, se calculará la huella de carbono. Además, se aplica una estadística descriptiva de los datos de los productos que se obtiene, tanto de la pirólisis continua como de la pirólisis discontinua.

3.6. Métodos y técnicas

3.6.1. Métodos

Los métodos que se tomaron en cuenta para la elaboración de este proyecto son el deductivo, inductivo y experimental, los mismos que servirán para proporcionar datos e información para la realización del proceso, así como establecer las operaciones unitarias necesarias y las condiciones factibles para cada una de las etapas del proceso de pirólisis de polipropileno.

- **Método deductivo**

Para este método se aplica los conocimientos en cuanto a operaciones unitarias que nos permiten determinar cada una de las etapas dentro del proceso de pirólisis, que partirán de la experimentación y diferentes ensayos realizados nivel de laboratorio. Buscando así obtener las variables, parámetros y operaciones que sean necesarias poder realizar el cálculo de la huella de carbono.

- **Método inductivo**

A través de este método se busca conocer y adecuar los distintos procesos que intervienen en el proceso de pirólisis de residuos, para lo cual se da comienzo a partir de la selección de materia prima adecuada (polipropileno).

3.7. Método de cálculo de la huella de carbono para los procesos continuo y discontinuo de pirólisis de polipropileno

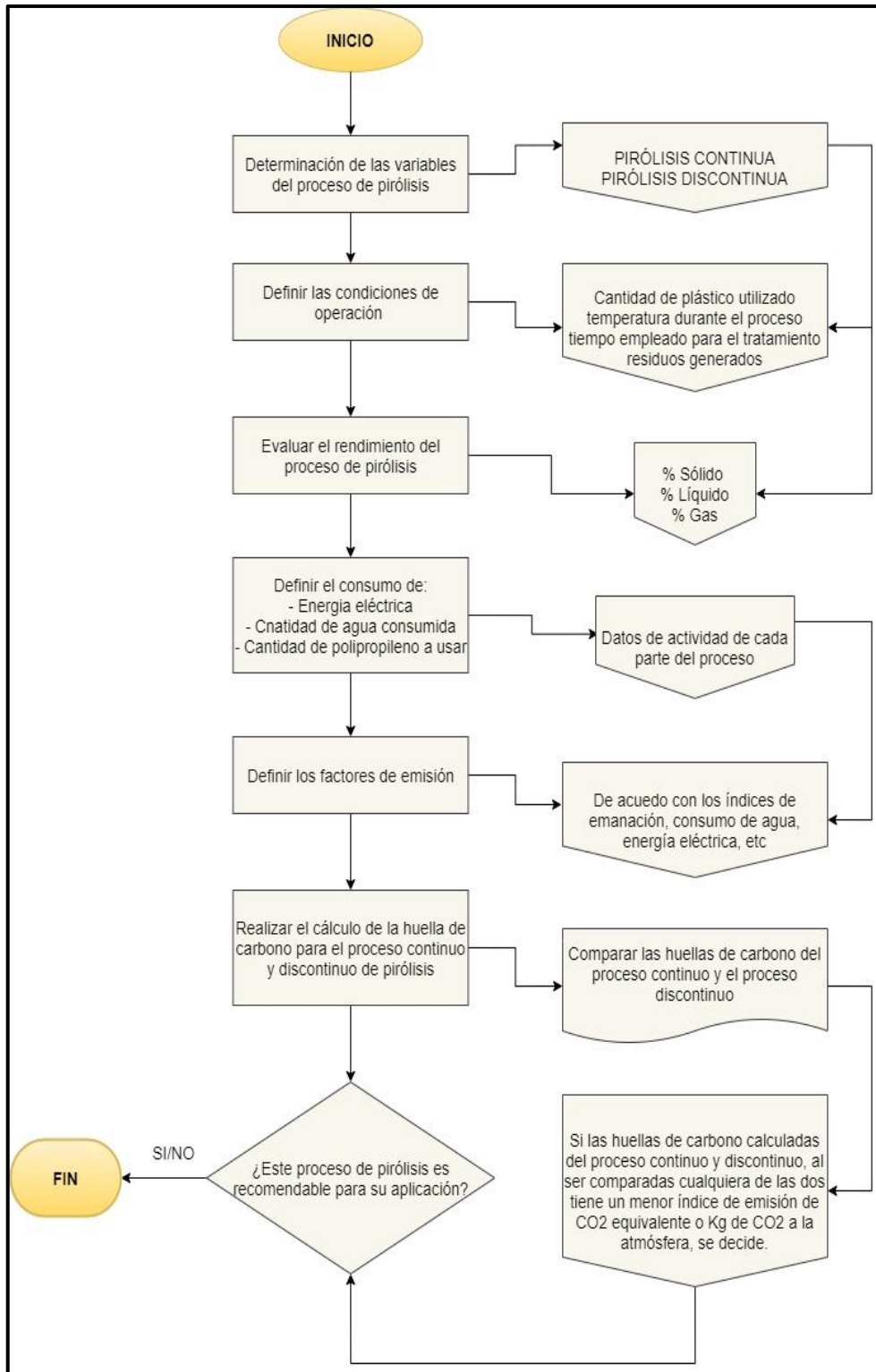


Ilustración 2-3: Diagrama del proceso

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.7.1. Técnicas

Para el cálculo de la huella de carbono, existe la normativa española, dictada por el Ministerio de Agricultura Y medio ambiente, misma que se asemeja a otras metodologías encontradas bibliográficamente de estudios similares en cuanto al cálculo de la huella de carbono de un proceso se refiere. Esta norma se basa en las normas ISO 14067, ISO 14069, Organisation Environmental Footprint (OEF)

3.8. Población de estudio

Para la población de estudio de esta investigación se tomaron en cuenta el proceso de pirólisis continua, y el proceso de pirólisis discontinua.

- Una unidad de pirólisis discontinua
- Una unidad de pirólisis continua

3.9. Tamaño de la muestra

Para el tamaño de la muestra, se tomó en cuenta una relación de 1:1 en la que se basa que por cada Kilogramo de plástico el 18% es de polipropileno, para la presente investigación se utilizará 1Kg del mismo, El cual será sometido a un proceso de pirólisis discontinua, y continua. Con fines investigativos.

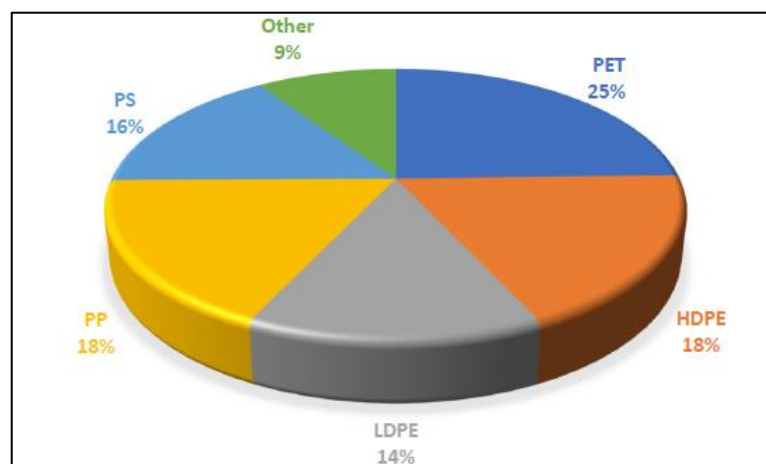


Ilustración 3-3: Cantidad de plásticos clasificados

Fuente: (Palmay et al., 2022, p. 9).

Además, es importante recalcar que luego del proceso de pirólisis de Polipropileno se obtuvieron también los siguientes valores importantes para el cálculo de la huella de carbono, a temperaturas de 350 °C, 375 °C y 400°C.

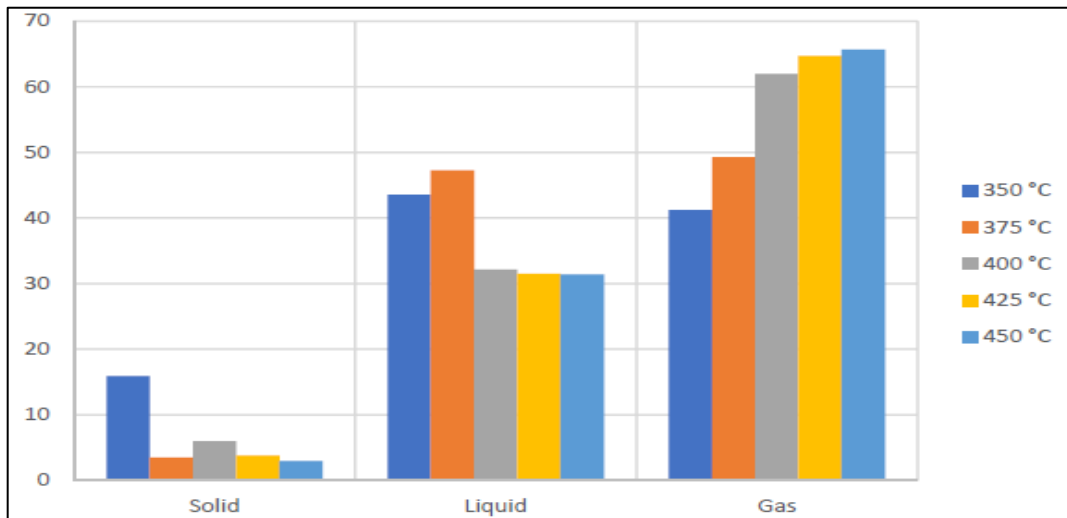


Ilustración 4-3: Fracciones sólidas, líquidas y gaseosas del proceso de pirólisis discontinua

Fuente: (Palmy et al. 2022, p. 11).

3.9.1. Balance de masa general del proceso de pirólisis de plástico

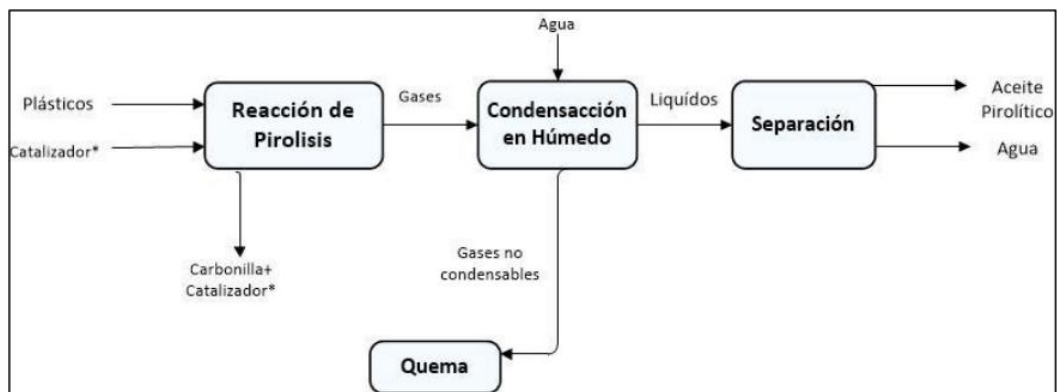


Ilustración 5-3: Localización geográfica de la Facultad de Ciencias ESPOCH

Fuente: (Díaz, 2016, p. 14).

$$M_p + M_{cat}^* + M_A = M_{CR} + M_{AP} + M_{A2} + M_g$$

Ecuación 1-3

Donde:

Tabla 2-3: Entradas y salidas en el balance de masa del proceso de pirólisis discontinua

| ENTRADAS | SALIDAS |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| M_p : masa del plástico contaminado al reactor | M_{cr} : masa de carbonilo en el reactor+ masa catalizador* |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Mcat*: masa de catalizador al reactor | MAp: masa de aceite pirolítico |
| MA: masa de agua | Mg: masa de gases (calculado) |
| | MA2: Masa de agua salida |
| *El catalizador se lo usa de acuerdo con los requerimientos del usuario | |

Fuente: (Morocho, 2019).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.9.1.2. Factor de emisión

Para el desarrollo del cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis de residuos plásticos, se utilizaron equipos de pirolisis continua y discontinua, los mismos que para su accionamiento, consumen energía eléctrica. Por lo que es necesario calcular el factor de emisión para el consumo de energía eléctrica (Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases efecto invernadero 2022, p. 14). Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$FE = \frac{\text{Emisiones totales de } CO_2 \text{ de la generación (kg } CO_2 \text{)}}{\text{Electricidad generada (Kw * h)}}$$

Ecuación 2-3

- Se debe tomar en cuenta las emisiones totales de CO₂, que se registran durante la generación de la energía eléctrica en el ecuador: **1547194.18 kg CO₂**
- Se utiliza la energía eléctrica generada durante el año 2022-2023: **3967164.564 Kw*h**

$$FE = \frac{1547194.18 \text{ (kg } CO_2 \text{)}}{3967164.564 \text{ (Kw * h)}}$$

$$FE = 0.39 \frac{Kg \text{ } CO_2}{Kw * h}$$

Las unidades para aplicar el factor de emisión en el cálculo de la huella de carbono deben ir de acuerdo con la actividad desarrollada, por tal motivo los factores de emisión van dependiendo de la empresa que esta encargada de cuantificar los mismos, así como también de la actividad que se realice en la misma, el factor de emisión utilizado para esta investigación es el de la energía eléctrica. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto DemoIlustración, 2022, p. 6)

3.9.2. Huella de carbono para el proceso de pirólisis discontinua, equipo ESPOCH

Para el primer cálculo de la huella de carbono del proceso discontinuo del proceso de pirólisis, se tomó en cuenta el siguiente esquema, para así poder determinar las fuentes puntuales de consumo

de energía eléctrica, ya sea para arrancar con el proceso, así como también para el proceso de refrigeración del agua que ingresa al condensador.

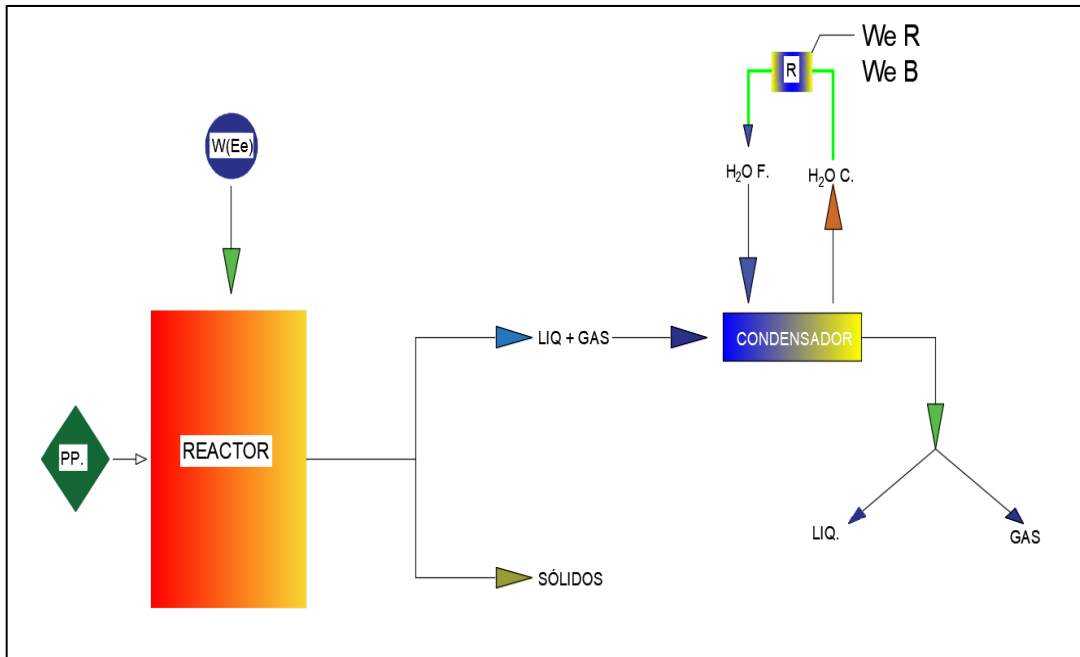


Ilustración 6-3: Diagrama del proceso de pirólisis discontinua (equipo ESPOCH)

Fuente: Barzola, Alex, 2023.

En el esquema presentado se puede observar que el proceso de pirólisis discontinua se acciona con energía eléctrica, mismo que activa el reactor ya con el polipropileno en su interior. El proceso se da durante 5 Horas, obteniendo como resultado sólidos, líquidos y gases, los líquidos y gases pasan por un proceso de condensación, obteniendo como producto de la condensación, agua caliente, misma que es sometida por un proceso de refrigeración, para posteriormente recircular el agua fría al proceso de pirólisis.

3.9.3. Condiciones de operación del sistema de pirólisis discontinua ESPOCH

Tabla 3-3: Condiciones de operación equipo de pirólisis ESPOCH

| Parámetro | Especificación |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Temperatura de trabajo | 350-450 °C |
| Presión de trabajo | -0.05MPa |
| Temperatura de condensación | 10 °C |
| Agitación | Baja RPM |
| Velocidad de calentamiento | 12 a 15 °C min ⁻¹ |
| Gas suministrado | 20mL min ⁻¹ de nitrógeno |
| Tipo de Plástico | polipropileno |

Fuente: (Palmay et al., 2022, p. 9).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.9.4. Características del equipo de pirólisis discontinua ESPOCH

Tabla 4-3: Características de funcionamiento de los motores para el equipo de pirólisis discontinua

| CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE PIRÓLISIS ESPOCH | | |
|------------------------------------------------|---------------------|-------|
| MOTOR 1 | Voltaje (V) | 220 V |
| | Amperaje (A) | 3.9 A |
| Motor de Refrigeración | Voltaje (V) | 115V |
| | Amperaje (A) | 10 A |
| Motor de Bomba de Agua | Voltaje (V) | 110 V |
| | Amperaje (A) | 5 A |

Fuente: (Palmay et al. 2022, p. 9).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.9.5. Datos de los productos del proceso de pirólisis discontinua de propileno

Tabla 5-3: Productos del proceso de pirólisis discontinua

| | |
|----------------|-----|
| Solido | 6% |
| Liquido | 31% |
| Gas | 63% |

Fuente: (Palmay et al. 2022, p. 9).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Estos valores son muy importantes para poder obtener la huella de carbono del proceso de pirólisis de polipropileno. Los mismos que nos ayudaron a cuantificar cada uno de los productos que son resultado de dichos procesos.

3.9.5.1. Cálculo de la potencia de los motores utilizados para en el equipo de pirólisis discontinua

Es importante mencionar que, con los datos de Voltaje y amperaje de cada uno de los componentes del equipo de pirólisis, se debió calcular la potencia que tiene cada uno de los motores, tomando en cuenta un factor de potencia de 0.98, el cual es utilizado dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. para el cálculo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia } \varepsilon = V * I * Fp$$

Ecuación 3-3

Donde:

V= voltaje de operación del motor

I= intensidad de corriente (amperaje)

Fp= factor de potencia (ESPOCH)

- Cálculo de la potencia del Motor 1

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = V * I * Fp}$$

$$Potencia \ \varepsilon = 220V * 3.9 A * 0.98$$

$$Potencia \ \varepsilon = 840.84 W \times \frac{1Kw}{1000w} \times 5h$$

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = 4.29 Kw * h}$$

- Cálculo de la potencia del Motor de refrigeración.

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = V * I * Fp}$$

$$Potencia \ \varepsilon = 115V * 10 A * 0.98$$

$$Potencia \ \varepsilon = 1127 W \times \frac{1Kw}{1000w} \times 5h$$

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = 5.63 Kw * h}$$

- Cálculo de la potencia del Motor de la bomba de agua.

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = V * I * Fp}$$

$$Potencia \ \varepsilon = 110V * 5 A * 0.98$$

$$Potencia \ \varepsilon = 539W \times \frac{1Kw}{1000w} \times 5h$$

$$\mathbf{Potencia \ \varepsilon = 2.69 Kw * h}$$

Las unidades de la potencia, en las cuales la norma nos indica que se debe trabajar para el cálculo de la huella de carbono son KW/h, por lo que es necesario a multiplicar al dato de la *Potencia ε*, por el tiempo de trabajo del equipo, en este caso se emplearon 5h.

3.9.6. Cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis discontinua de polipropileno

Para realizar el cálculo de la Huella de Carbono (HC) se necesita utilizar la siguiente ecuación, la cual es desarrollada por:

Donde:

- El dato de actividad= (DA)
- El factor de emisión =(FE)

Es importante mencionar que, para el cálculo de la huella de carbono, para este equipo utilizado, tenemos como productos, sólidos, líquidos y gaseosos, sin embargo se debe realizar el cálculo, con los datos obtenidos de los Kw/h consumidos por cada uno de los motores de los que consta el sistema de pirólisis de la ESPOCH. Para así obtener individualmente la huella de carbono, y posteriormente sumar todos los valores para así obtener la huella de carbono total de este proceso de pirólisis discontinua de polipropileno.

- Cálculo de la Huella de carbono del Motor 1

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 4.29 \text{ Kw} * \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Kw} * \text{h}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1.67 \text{ Kg CO}_2 \text{equivalente}$$

- Cálculo de la huella de carbono del Motor de refrigeración.

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 5.63 \text{ Kw} * \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Kw} * \text{h}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 2.20 \text{ Kg CO}_2 \text{equivalente}$$

- Cálculo de la huella de carbono de la bomba de agua.

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 2.69 \text{ Kw} * \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Kw} * \text{h}}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1.05 \text{ Kg CO}_2 \text{equivalente}$$

- Huella de Carbono total para el proceso de pirólisis discontinua.

$$\text{Huella de carbono Total} = H.C M1 + H.C MR + H.C Bomba$$

$$\text{Huella de carbono Total} = (1.67 + 2.20 + 1.05) \text{kg CO}_2$$

$$\text{Huella de carbono Total} = 4.92 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalente}$$

3.9.6.1. Proceso de pirólisis continua

La pirólisis continua es un proceso térmico en el que se descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno para producir gases, líquidos y sólidos. Este proceso se lleva a cabo en un reactor que funciona de forma continua, y que utiliza altas temperaturas y tiempos de residencia cortos para maximizar la producción de gases y minimizar la formación de residuos sólidos. La pirólisis continua se utiliza en la producción de bioaceites, biogás y carbón vegetal, y es una técnica prometedora para la gestión sostenible de residuos y la producción de energía renovable. Además, este proceso también puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al evitar la liberación de metano en los vertederos.

3.9.6.2. Esquema general y características del proceso de pirólisis en lecho fluidizado circulante

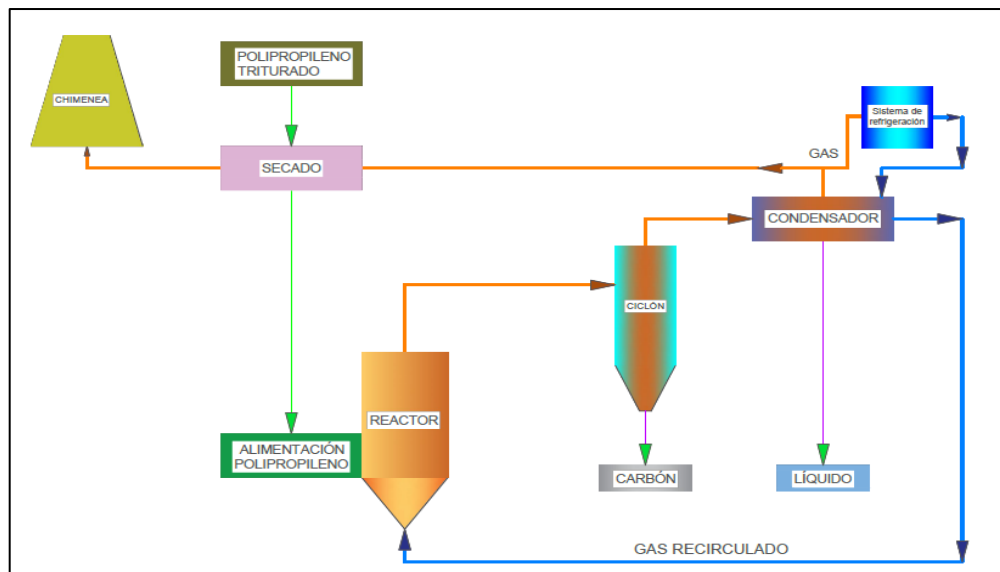


Ilustración 7-3: Diagrama del proceso de pirólisis continua

Fuente: Barzola, Alex, 2023.

Este proceso de pirólisis, continua es el más comúnmente utilizado, ya que su rendimiento es mucho mejor, en este esquema se detalla el proceso más aplicado, mismo que se desarrolla en varias operaciones: secado, alimentación, descomposición térmica en el reactor, colección de carbón y cenizas, y la recolección de los productos líquidos.

Tabla 6-3: Características del proceso de Pirólisis utilizando un reactor de lecho fluidizado

| | |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Tipo de reactor | Lecho fluidizado circulante |
| Partículas sólidas del lecho | Arena de cuarzo |
| Cantidad de arena | 100-250g |
| Tamaño de las partículas | 350-400ug |
| Temperatura | 450-600°C |
| Humedad | <10 % |
| Alimentación | 1-5Kg/día de plástico |
| Tamaño de las partículas de polipropileno | 2-6 mm |
| Tiempo de permanencia del gas en el reactor | 2 segundos |
| Tipo de energía usada | Eléctrica |
| Volumen del reactor | 1.03 L |
| Consumo de agua (lavado) | 10m ³ |

Fuente: (Hernández 2007, p. 36).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.9.6.3. Rendimiento del proceso de pirólisis continua de polipropileno

Tabla 7-3: Rendimiento del proceso de pirólisis continua

| Tipo de pirólisis | Condiciones | Líquido | Sólidos (coque) | Gases |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|--------------|
| Continua (RLFC) | T= 500°C Tiempo de residencia del vapor caliente: 2 segundos | 66.5% | 14.1% | 19.4% |
| Flujo Másico Plástico (referencial) | 1 Kg/ día | 66.5% | 14.1% | 19.4% |

Fuente: (Hernández, 2007, p. 26).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

3.9.6.4. Cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis continua

Para el cálculo de la huella de carbono de este proceso, al ser un equipo que no se encuentra disponible en la ESPOCH, los datos fueron obtenidos por estudios realizados previamente, los

mismos que indican los rendimientos, estos datos se encuentran en la (tabla anterior) y los consumos de energía eléctrica de cada uno de los elementos que componen el proceso de pirólisis con el uso de un reactor de lecho fluidizado circulante (RLFC). Según (Palmay et al. 2022, p. 7). Se trabajó con una muestra compuesta de 1 Kg/día de plástico, de los cuales el 18% corresponde a polipropileno. (8.1 Kg/día de polipropileno).

Al ser un estudio comparativo entre los dos procesos (continuo y discontinuo) El equipo que se tomó en cuenta como base del estudio de pirólisis continuo, tiene una Alimentación de 1 Kg/ día, por lo que los resultados en cuanto al rendimiento del equipo están en una relación de 1:1, condiciones semejantes al proceso discontinuo.

3.9.6.5. Consumos energéticos de cada elemento del equipo de pirólisis continua, (RLFC)

Tabla 8-3: Consumos de energía del proceso de pirólisis continua

| Proceso | Potencia utilizada en 2 h de trabajo diario. |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| Lavado Polipropileno | - |
| Cámara de Secado | 0.5 Kw*h |
| Lecho fluidizado | 0.65 Kw*h |
| Ciclón | 0.25 Kw*h |
| Sistema de refrigeración | 0.25 Kw*h |
| Reactor | 1.5 Kw*h |
| Bomba del condensador | 0.25 Kw*h |
| TOTAL | 3.4 Kw*h |

Fuente: (Faxas Esaclona et al., 2009, pP. 14-15).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

- Cálculo de la Huella de carbono en el lavado del polipropileno.

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O} \times 0.12 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^3}$$

$$\text{Huella de carbono} = 0.6 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en la cámara de secado.

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 0.5 \text{ Kw} * \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Kw} * \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.195\text{kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en el lecho fluidizado.

$$\textit{Huella de carbono} = \textit{dato de actividad} \times \textit{factor de emisión}$$

$$\textit{Huella de carbono} = 0.65 \text{ Kw} \cdot \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{Kw} \cdot \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.25 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en el ciclón.

$$\textit{Huella de carbono} = \textit{dato de actividad} \times \textit{factor de emisión}$$

$$\textit{Huella de carbono} = 0.25 \text{ Kw} \cdot \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{Kw} \cdot \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.0975 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en el sistema de refrigeración.

$$\textit{Huella de carbono} = \textit{dato de actividad} \times \textit{factor de emisión}$$

$$\textit{Huella de carbono} = 0.25 \text{ Kw} \cdot \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{Kw} \cdot \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.0975 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en el reactor.

$$\textit{Huella de carbono} = \textit{dato de actividad} \times \textit{factor de emisión}$$

$$\textit{Huella de carbono} = 1.5 \text{ Kw} \cdot \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{Kw} \cdot \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.585 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en la bomba del condensador.

$$\textit{Huella de carbono} = \textit{dato de actividad} \times \textit{factor de emisión}$$

$$\textit{Huella de carbono} = 0.25 \text{ Kw} \cdot \text{h} \times 0.39 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{Kw} \cdot \text{h}}$$

$$\mathbf{Huella\ de\ carbono} = 0.0975 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la Huella de carbono en Total en el Proceso de pirólisis continua.

Huella de carbono total para el proceso continuo de pirólisis.

$$\text{Huella de carbono} = H_c. (\text{lavado} + \text{secado} + \text{Lecho F.} + \text{ciclon} + \text{sist. Ref.} + \text{reactor} + \text{bomba C.})$$

Ecuación 5-3

$$\text{Huella de carbono} = (0.6 + 0.195 + 0.25 + 0.0975 + 0.0975 + 0.585 + 0.0975) \text{kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

$$\text{Huella de carbono} = 1.93 \text{ kg } CO_2 \text{ equivalente}$$

3.9.6.6. Huella de carbono del proceso de pirólisis de polipropileno en la ciudad de Riobamba

Para realizar este cálculo se utilizaron los siguientes datos:

Tabla 9-3: Datos para el cálculo de la producción per cápita de residuos plásticos, en la ciudad de Riobamba

| DATOS | |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Producción per cápita de residuos. | $0.60 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{dia}}$ |
| Número de Habitantes | 264000 Habitantes |
| % residuos plásticos | 10.82% |
| % polipropileno | 18% |

Fuente: (Palmay 2022, p. 16).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

- Cantidad de residuos generados, de acuerdo con el número de habitantes en Riobamba.

$$\text{Cantidad de residuos} = 0.60 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{dia}} * 264000 \text{ hab}$$

$$\text{Cantidad de residuos} = 158400 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

- Cantidad total de residuos plásticos.

$$\text{Cantidad de residuos plasticos} = 158400 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{10.82}{100}$$

$$\text{Cantidad de residuos plasticos} = 17138.88 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

- Cantidad de Polipropileno (PP).

$$\text{Cantidad de PP} = 17138.88 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{18}{100}$$

$$\text{Cantidad de PP} = 3084.9 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

- Cantidad del PP en ton/día.

$$\text{Cantidad de PP} = 3084.9 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{1\text{Ton}}{1000 \text{kg}}$$

$$\text{Cantidad de PP} = 3.085 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$$

Con esta cantidad de polipropileno, al tratarse de una cantidad elevada de residuos, es necesario trabajar con un equipo a escala industrial, por ende, se plantea el uso de un equipo de pirólisis discontinua cuyas características son:

Tabla 10-3: Características técnicas del equipo de pirólisis discontinua

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Modelo del equipo | BESTON BLJ-3 |
| Capacidad | 2-3 Toneladas diarias |
| Modo de trabajo | Discontinuo |
| Consumo de energía | 16.5 Kw |
| Consumo de energía (5horas) | 82.5 Kw*h |

Fuente: (BESTON 2023, p. 14-17).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Por ende, con el dato de consumo de energía eléctrica se pudo calcular la huella de carbono para este equipo de pirólisis Discontinua:

- Cálculo de la HC para el equipo de pirólisis BESTON BLJ-3 (discontinuo)

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$\text{Huella de carbono} = 82.5 \text{ Kw} * h * 0.39 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Kw} * h}$$

$$\text{Huella de carbono} = 32.2 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalente}$$

- Cálculo de la huella de carbono del equipo de pirólisis BESTON BLJ-3 (discontinuo), durante un año de trabajo.

Como se sabe, se trabajan 5 horas diarias, durante 6 días por cada semana (como referencia), para este equipo discontinuo, entonces tenemos.

Trabajo semanal: 30horas

Se tiene:

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{equivalente durante 30 horas} = \frac{32.2 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente} * 30h}{5h}$$

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{equivalente durante 30 horas} = \frac{966 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente}}{5}$$

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{equivalente durante 30 horas} = 193.2 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente (semanal)}$$

La cantidad de 193.2 KgCO₂ equivalente, represente a la huella de carbono que genera el equipo durante 6 días de trabajo (30h semanales), para poder comparar con los valores de emisiones anuales, estimadas según proyecciones medioambientales se necesita saber la cantidad de emisiones de CO₂ equivalente en Toneladas anuales, entonces, se sabe que:

Un año: 52 semanas

Se tiene:

- Huella de carbono (en toneladas) anual generada por el equipo de pirólisis BESTON BLJ-3 (discontinuo),

$$193.2 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente (semanal)} * 52 \text{ semanas}$$

$$\text{kgCO}_2 \text{ equivalente (anual)} = 10046.4 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente}$$

$$10046.4 \text{ kgCO}_2 \text{ equivalente (anual)} \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$10.046 \text{ Toneladas CO}_2 \text{ equivalente (anual)}$$

Si se desea tratar todo el plástico que se recibe diariamente en el centro de acopio, se necesita el equipo de pirólisis continua, el mismo que tiene las siguientes características.

Tabla 11-3: Características técnicas del equipo de pirólisis continua BESTON BLL30

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Modelo del equipo | BESTON BLL-30 |
| Capacidad | 20-30 Toneladas diarias |
| Modo de trabajo | continuo |
| Consumo de energía | 256 Kw |
| Consumo de energía (8horas) | 2048 Kw*h |
| Cantidad de residuos plásticos | 20 ton diarias (aprox) |

Fuente: (BESTON 2023, p. 14-17).

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

- Cálculo de la HC para el equipo de pirólisis BESTON BLL-30 (continuo)

Huella de carbono = dato de actividad x factor de emisión

$$Huella\ de\ carbono = 2048Kw * h \times 0.39 \frac{kg\ CO_2}{Kw * h}$$

$$Huella\ de\ carbono = 798.72\ kg\ CO_2\ equivalente$$

- Cálculo de la huella de carbono del equipo de pirólisis BESTON BLL-30 (continuo) durante un año de trabajo.

Se sabe que este equipo trabaja continuamente durante 5 horas diarias en los 7 días de la semana. Teniendo un estimado de trabajo de 56 horas, por lo tanto:

$$Cantidad\ de\ CO_2\ equivalente\ durante\ 56\ horas = \frac{798.72\ kgCO_2\ equivalente * 56h}{8h}$$

$$Cantidad\ de\ CO_2\ equivalente\ durante\ 56\ horas = \frac{44278.32\ kgCO_2\ equivalente}{8}$$

$$Cantidad\ de\ CO_2\ equivalente\ durante\ 56\ horas = 5591.04\ kgCO_2\ equivalente\ (semana)$$

- Huella de carbono (en toneladas) anual generada por el equipo de pirólisis BLL-30 (continuo).

$$5591.04kgCO_2\ equivalente\ (semanal) * 52\ semanas$$

$kgCO_2$ equivalente (anual) = 290734.08 $kgCO_2$ equivalente

$$290734.08 \text{ } CO_2 \text{ equivalente (anual)} \frac{1 \text{ Ton}}{1000kg}$$

290.73 Toneladas CO_2 equivalente (anual)

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos de la huella de carbono del proceso de pirólisis de residuos plásticos, tanto para los procesos continuo y discontinuo, así como también. Los cálculos a escala industrial, tanto para los equipos BLJ-3 (discontinuo), y BESTON BLL-30. (continuo).

4.1. Equipo

4.1.1. Potencia de trabajo de cada elemento del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)

Tabla 1-4: Resultados de los cálculos de la potencia de trabajo de cada elemento del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)

| ELEMENTO | POTENCIA |
|------------------------|-------------------|
| MOTOR 1 | 4.29 Kw*h |
| Motor de Refrigeración | 5.63 Kw*h |
| Motor de Bomba de Agua | 2.29 Kw*h |
| TOTAL: | 12.21 Kw*h |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

4.1.2. Huella de carbono del equipo de pirólisis discontinua (ESPOCH)

Tabla 2-4: Huella de carbono calculada del equipo de pirólisis discontinua

| ELEMENTO | HUELLA DE CARBONO |
|------------------------|-------------------------------------------|
| MOTOR 1 | 1.67 kgCO ₂ equivalente |
| Motor de Refrigeración | 2.20 kgCO ₂ equivalente |
| Motor de Bomba de Agua | 1.05 kgCO ₂ equivalente |
| TOTAL: | 4.92 kg CO₂ equivalente |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

4.1.3. Huella de carbono del equipo de pirólisis continua con el uso del reactor de lecho fluidizado circulante

Tabla 3-4: Huella de carbono calculada del equipo de pirólisis continua con el uso de un RLFC

| Proceso | Huella de carbono. |
|--------------------------|------------------------------------------|
| Lavado Polipropileno | 0.6 kgCO ₂ equivalente |
| Cámara de Secado | 0.195 kgCO ₂ equivalente |
| Lecho fluidizado | 0.25 kgCO ₂ equivalente |
| Ciclón | 0.0975 kgCO ₂ equivalente |
| Sistema de refrigeración | 0.0975 kgCO ₂ equivalente |
| Reactor | 0.585 kgCO ₂ equivalente |
| Bomba del condensador | 0.0975kgCO ₂ equivalente |
| Total | 1.93 kgCO₂ equivalente |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

4.1.4. Producción per cápita de residuos sólidos, plásticos y polipropileno en la ciudad de Riobamba

Tabla 4-4: Resultados del cálculo de la producción per cápita de residuos sólidos, plásticos y polipropileno en Riobamba

| Residuos sólidos. | Plástico | Polipropileno |
|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| 158400 kg/día | 17138.88 kg/día | 3084.9 kg/día 3.085 ton/día |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Como una propuesta a futuro se ha realizado el cálculo con las máquinas de pirólisis, tanto continua como discontinua, más comunes en el mercado mundial, y se ha realizado el cálculo con los datos presentes en la tabla anterior, obteniendo los siguientes resultados:

4.1.5. Cálculo de la huella de carbono a escala industrial para el equipo de pirólisis BESTON BLJ3 2-3 toneladas (discontinuo)

Tabla 5-4: Resultados del cálculo de la huella de carbono para el equipo BESTON BLJ3 2-3 toneladas (discontinuo)

| Tiempo de trabajo. | Huella de carbono | HC en Ton CO ₂ |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 5 horas | 32.2 kg CO ₂ eq | 0.0322 Ton CO ₂ eq |
| 30 horas (semanales) | 193.2 kg CO ₂ eq | 0.19 Ton CO ₂ eq |
| Anual | 100046.4kg CO ₂ eq(anual) | 10.046 Ton CO ₂ eq |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Tabla 6-4: Cálculo de la huella de carbono para el equipo BESTON BLL30 20-30 toneladas (continuo)

| Tiempo de trabajo. | Huella de carbono | HC en Ton CO ₂ |
|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| 8 horas | 798.72 kg CO ₂ eq | 0.798 kg CO ₂ eq |
| 56 horas (semanales) | 5591.04 kg CO ₂ eq | 5.59 kg CO ₂ eq |
| Anual | 290734.08 kg CO ₂ eq (anual) | 290.73Ton CO ₂ eq |

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

4.2. Análisis y discusión de resultados

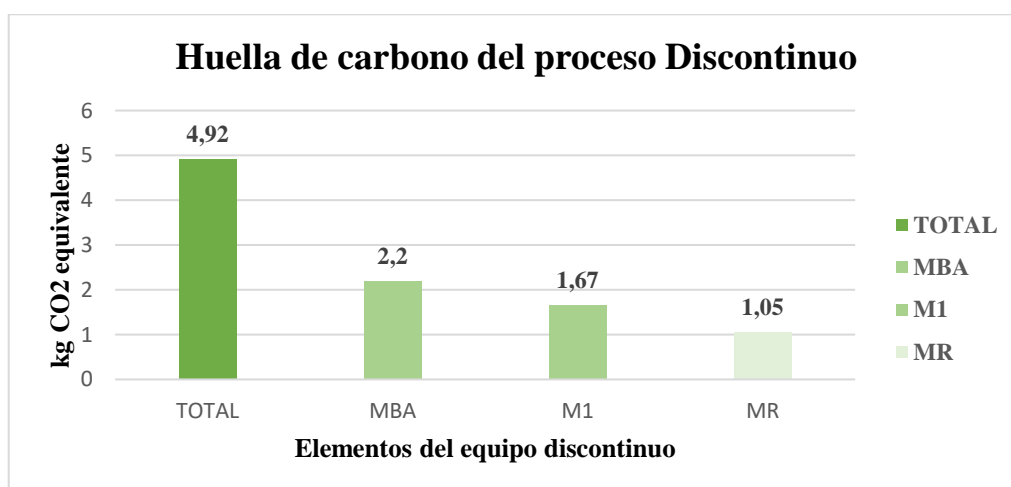


Ilustración 1-4: Huella de carbono del proceso de pirólisis discontinua (ESPOCH)

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Se obtuvo una huella de carbono total de 4.92 $kg CO_2$ equivalente, con un valor más alto en el motor de refrigeración 2.2 $kg CO_2$ equivalente, del proceso de pirólisis discontinua, por lo contrario, se observa que en el motor que se utiliza para bombear el agua durante el proceso, se obtuvo un menor consumo de energía, por lo tanto, una menor huella de carbono 1.05 $kg CO_2$ equivalente. Cabe recalcar que este equipo a trabajado durante un periodo de tiempo de 5 horas seguidas, para posteriormente ser puesto en reposo.

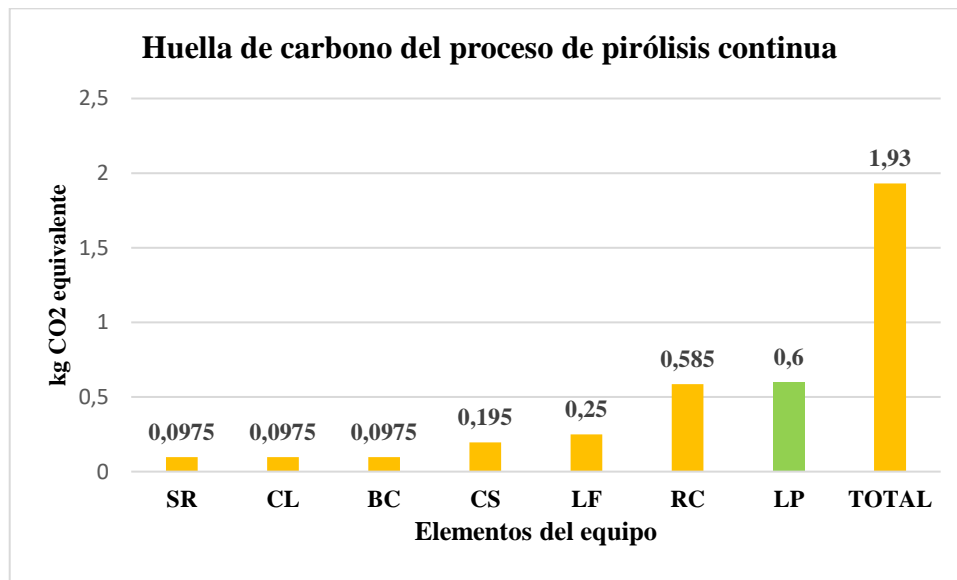


Ilustración 2-4: Huella de carbono del proceso de pirolisis continua

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Se observa que, en el proceso de pirólisis continua, la huella de carbono total es de 1.93 $kg CO_2$ equivalente, registrándose un mayor consumo de energía en el reactor, con una huella de carbono de 0.585 $kg CO_2$ equivalente, por lo contrario, el menor consumo de energía se da en el ciclón, sistema de refrigeración, bomba del condensador, por ende, se obtiene una menor huella de carbono, con un valor correspondiente a 0.0975 $kg CO_2$ equivalente.

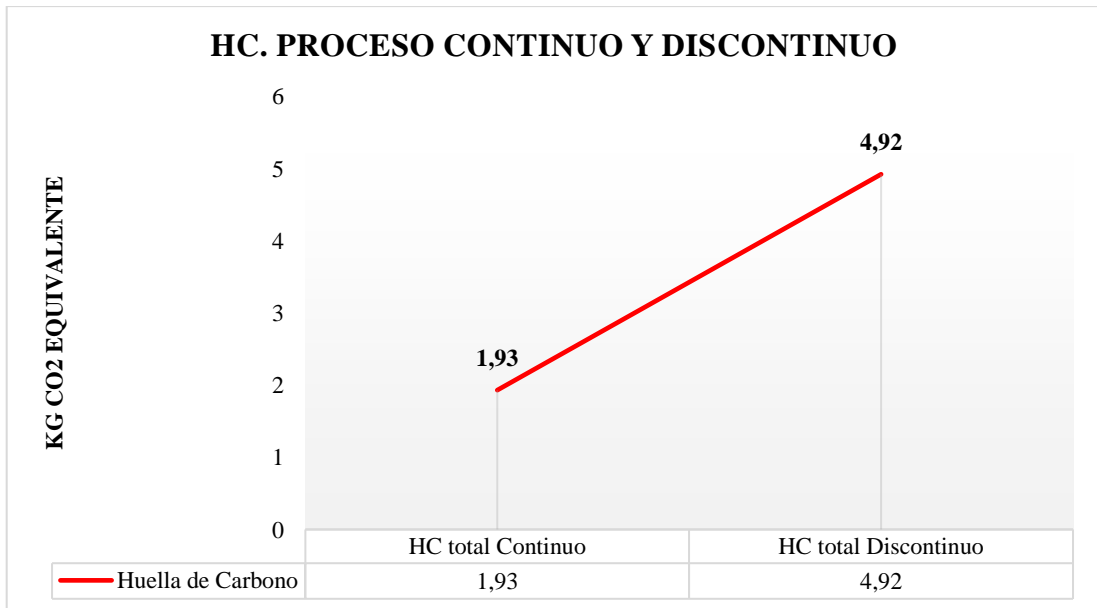


Ilustración 3-4: Comparación de la huella de carbono del proceso continuo y discontinuo

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Se observa que, la huella de carbono del proceso de pirólisis continua es mucho menor con un valor de 1.93 $kg CO_2$ equivalente, por lo contrario, el equipo de pirólisis discontinua genera una mayor huella de carbono con un valor de 4.92 $kg CO_2$ equivalente. Esto se da debido a que el proceso de pirolisis continua procesa la misma cantidad de residuos plásticos que el proceso discontinuo, pero el proceso continuo lo hace en un tiempo menor (2h) en comparación al proceso de pirolisis discontinua que se demora 5 horas en procesar la misma cantidad de plástico que el proceso continuo, por ende, el proceso discontinuo consume una mayor cantidad de energía eléctrica, con relación al proceso de pirólisis discontinua.

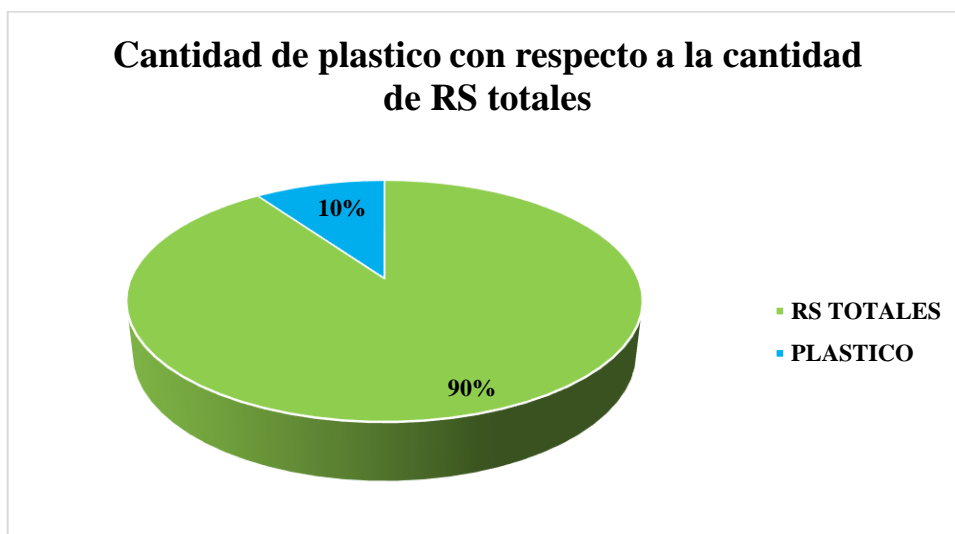


Ilustración: Residuos sólidos totales y residuos plásticos

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

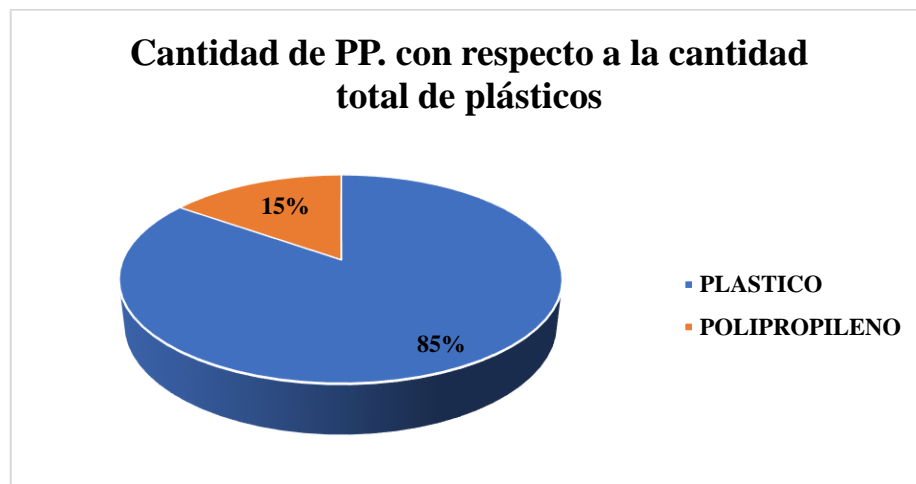


Ilustración 4-4: Residuos plásticos y polipropileno

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

Se observó que la producción per cápita de residuos sólidos en la ciudad de Riobamba es de 158400 Kg por día, al clasificarse los desechos y solamente tomando en cuenta la cantidad total de plásticos (10.82%), se obtuvo como resultado 1738.88 kg de plástico, y por último la cantidad de polipropileno que se pudo obtener (18%) del total de residuos plásticos, corresponde a la cantidad de 3084.9 kg de polipropileno por día. En la ciudad de Riobamba.

En cuanto al tratamiento de las aproximadamente 3 toneladas de polipropileno en la ciudad de Riobamba, se planteó el uso de la planta de pirólisis discontinua. Se propuso trabajar en un lapso de 5 horas diarias, y se obtuvo una huella de carbono de 0.032 Toneladas de CO₂ equivalentes, también se evaluó la cantidad de huella de carbono que se obtendrá en una semana de trabajo (30h), obteniendo como resultado, 0.19 Toneladas de CO₂ equivalentes, y por último se realizó el cálculo de la HC en una proyección anual, y se obtuvo como resultado 10.046 Toneladas de CO₂ equivalentes por año.

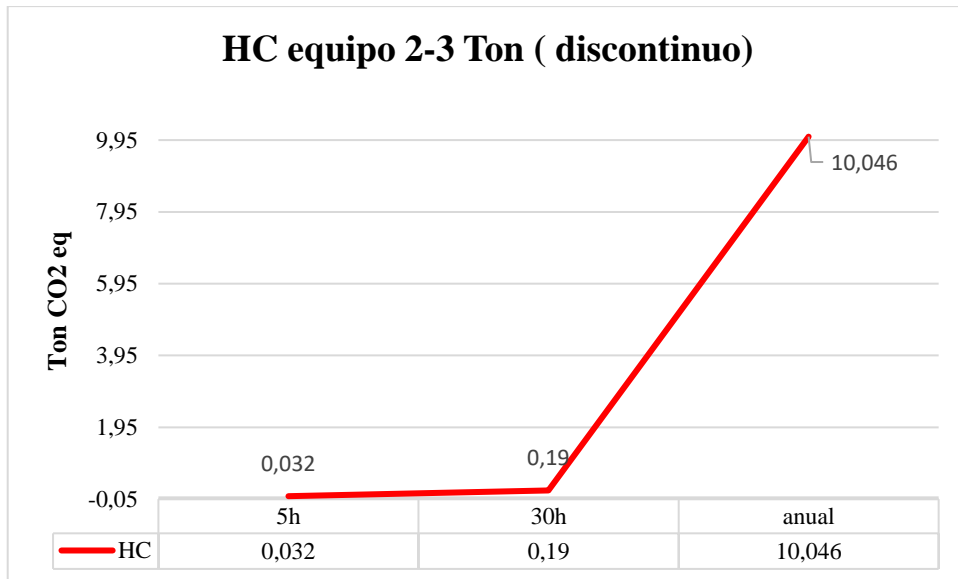


Ilustración 5-4: Huella de carbono del equipo discontinuo

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

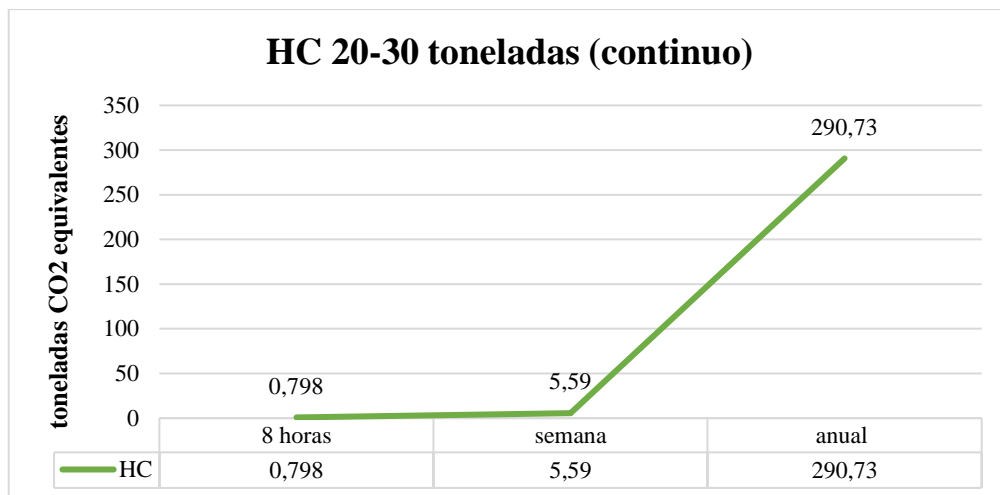


Ilustración 6-4: Huella de carbono del equipo continuo 20-30 ton

Realizado por: Barzola, Alex, 2023.

En cuanto al tratamiento de las aproximadamente 20 toneladas de plásticos (total) en la ciudad de Riobamba, se planteó el uso de la planta de pirólisis continuo, que trabaja en un rango de 20-30 toneladas de residuos plásticos por día. Este equipo puede trabajar por más de 8 horas diarias, pero se evaluó la huella de carbono emitida en un periodo de tiempo de 8 horas diarias. y se obtuvo una huella de carbono de 0.798 Toneladas de CO₂ equivalentes, también se evaluó la cantidad de huella de carbono que se obtendrá en una semana de trabajo (56h), obteniendo como resultado, 5.59 Toneladas de CO₂ equivalentes, y por último se realizó el cálculo de la HC en una proyección anual, y se obtuvo como resultado 290.73 Toneladas de CO₂ equivalentes por año.

CONCLUSIONES

- Se determinó el factor de emisión necesario para desarrollar el cálculo de la huella de carbono del proceso de pirólisis de residuos plásticos, el mismo que corresponde al consumo de energía eléctrica, donde se obtuvo un valor de $0.39 \text{ kg CO}_2 / \text{Kw} \cdot \text{h}$. Este factor obtenido esta basado en la cantidad de CO_2 equivalente que se genera al producir la energía eléctrica en el país durante un año, entre el total de la energía producida en el mismo periodo de tiempo.
- Se determinó la huella de carbono para el proceso de pirólisis discontinua, evaluando los consumos de energía del equipo de pirólisis que se encuentra en la ESPOCH, obteniendo un valor de: $4.92 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$, por otro lado se pudo determinar la huella de carbono del proceso de pirólisis continua, el cual utiliza un reactor de lecho fluidizado circulante, para así tener mejores rendimientos en cuanto a sus productos, se encontró que este equipo tiene una huella de carbono de $1.93 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$.
- Se pudo comprobar que la huella de carbono del proceso de pirólisis discontinua es más alta ($4.92 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$) en comparación con la huella de carbono del proceso continuo, esto se da por los índices de consumo de energía eléctrica, ya que en el proceso discontinuo el equipo de la ESPOCH, consume alrededor de $12.61 \text{ kw} \cdot \text{h}$ de energía eléctrica para procesar 1 Kg de PP en un lapso de tiempo de 5 horas, por otro lado el proceso de pirólisis continuo, a pesar de que tiene más elementos que conforman el equipo, este consume menos energía eléctrica ($3.4 \text{ Kw} \cdot \text{h}$) debido a que para procesar la misma cantidad de plástico que se utiliza en el proceso discontinuo, el proceso continuo lo realiza en mucho menos tiempo (2h), por tal motivo la huella de carbono de este proceso, es mucho menor ($1.93 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$) Estos valores de Huella de carbono, indican que el proceso de pirólisis continua tiene un mejor desempeño en cuanto a procesamiento de la materia prima y en sus productos, teniendo así un rendimiento de 66.5% en cuanto a los líquidos, 14.1 % en lo que respecta a sólidos y 19.4% correspondiente a los gases, a comparación con el proceso discontinuo que tiene rendimientos mucho más bajos, un 6% para los sólidos, 31% para la fracción líquida y 63% para los gases.
- Se pudo determinar que la huella de carbono del proceso de pirólisis continua tiene menor índice de emanación $1.93 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$ a comparación del proceso discontinuo que tiene un valor más elevado $4.92 \text{ Kg CO}_2 \text{ equivalente}$. Por lo que si se desea emplear el equipo de pirolisis Discontinuo, se generara una mayor incidencia en la huella de carbono, por ende genera una mayor contaminación, en comparación a que si se usa el equipo de pirolisis continua, se tendrá un mejor desempeño en cuanto a optimización del tiempo de tratamiento de los residuos plásticos, se tendrá un mayor rendimiento en lo que respecta a el aprovechamiento del biocombustible obtenido, se reduce la huella de carbono, disminuyendo

así la contaminación ambiental, y generando también mejores réditos económicos. Ya que no se emplea mucha energía eléctrica, y se procesa más plástico.

- Para la ciudad de Riobamba, Si se desea tratar el polipropileno existente (2-3 Ton) se recomienda el uso del equipo de pirólisis discontinua, este equipo es suministrado por la empresa BESTON. Se determino que este equipo tiene un índice de generación anual de huella de carbono de 10.046 Ton CO_2 eq. Y el equipo que trata una cantidad de 20-30 Ton, para el proceso de pirólisis continua, mismo que genera una huella de carbono anual de 290.73Ton CO_2 eq, sin embargo el equipo más recomendable para ser utilizado para el total de residuos plásticos que se generan en la ciudad de Riobamba, es el equipo de pirólisis continua ya que al realizar una comparación de la huella de carbono que genera este equipo de pirólisis anualmente, con el que se genera al incinerar los residuos plásticos en la ciudad de Riobamba, es evidentemente significativa la reducción de contaminación que se logra al utilizar este equipo. Se estima que para el año 2025 la huella de carbono que se genera en la ciudad de Riobamba, al no realizar el correcto tratamiento de estos residuos es de: 1.78 Gt de CO_2 eq, en comparación con la huella de carbono que se estima tener para ese mismo año al usar un equipo de pirólisis continua, la misma que se estima sea de $5.9 * 10^{-7}$ Gt de CO_2 eq. Comprobando así que la huella de carbono se reduciría considerablemente, por lo que es sugerible invertir en un equipo de pirólisis para el tratamiento de residuos plásticos en la ciudad de Riobamba.

RECOMENDACIONES

- Para la toma de datos en cuanto a los consumos de energía eléctrica, en el equipo discontinua de la ESPOCH, es necesario tomar en cuenta cada uno de los elementos del equipo que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento, para así garantizar que los valores de voltaje y potencia son los adecuados para el cálculo.
- En caso del proceso continuo, tiene más elementos, mismos que consumen más energía eléctrica, por ende, hay que tomar en cuenta los consumos desde el proceso de lavado del plástico hasta el fin del proceso de pirólisis.
- En cuanto a los factores de emisión, se debe seleccionar adecuadamente el factor a utilizarse para reemplazarlo en la ecuación, ya que existen variedad de datos de estos factores. Se recomienda utilizar los factores de emisión que otorga la EPA- AP42 mismos que son los más adecuados para que los resultados del cálculo de la huella de carbono sean los más cercanos a la realidad posible.
- Al realizar el cálculo de la huella de carbono se recomienda verificar que todas las unidades de los valores a trabajar sean las mismas ya que existen factores de emisión en otras unidades, las cuales resultan algo difíciles de transformar, por ende, todas las unidades deben estar en Kg, Ton, Gt de CO₂eq.
- Es recomendable el uso del equipo de pirolisis discontinua de la ESPOCH a escala de laboratorio, ya que los resultados en cuanto a rendimiento son buenos para poder cuantificar la calidad de los productos que se obtiene en las experimentaciones, sin embargo, el equipo de pirolisis continua tiene mejores más rendimientos, y es algo más costoso para ser utilizado a escala de laboratorio.
- Si se desea a futuro implementar un sistema de tratamiento de residuos plásticos por el métodos de pirólisis, en la ciudad de Riobamba, se recomendaría adquirir el equipo BESTON BLL 30, ya que se pudo comprobar que reduce los índices de huella de carbono, y los índices de contaminación, considerablemente.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDES, J., et al. “Reciclado de residuos plásticos”. *Revista Iberoamericana de polímeros* [en línea], 2004, 5(1), pp. 28-45. [Consulta: 13 marzo 2023]. ISSN 1014-8520. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1048871&orden=30219&info=link>.

ARENAS GUAYAZAN, B.D. Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto “La Villa Solar” ubicado en la ciudad de Buenaventura- Colombia [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de La Salle, Colombia, 2019. pp. 1-23. [Consulta: 2023-03-13]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2123&context=ing_ambiental_sanitaria.

BESTON, G. *Catalogo de platas de pirolisis beston group*. China: 2023, p.1.

CÁNOVAS, M. *Comparación de la huella de carbono de plásticos reciclables y bioplástico con aplicaciones en plasticultura*. [en línea], Argentina: Publicaciones científicas, 2021. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/LOS_RESIDUOS_WEB.pdf.

CHAVARRÍA SOLERA, F. et al. “Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014”. *Uniciencia*, vol. 30, no. 2 (2016), (Costa Rica) pp. 47.

CHAVARRIA, F. 2015. “Medición de la huella de carbono de la universidad nacional de Costa Rica”. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)* [en línea], 26(2), p. 63. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 0041-8420. Disponible en: [10.3390/molecules27103287](https://doi.org/10.3390/molecules27103287)

CIENCIA, R. 2015. “Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos Liquid Fuels from Wasted Plastics REJAS” *Revista Científica*, vol. 12, n° 2 (2015), pp. 635-642.

COMISIÓN TÉCNICA. *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado - Informe 2020*. [en línea], Ecuador: Ediciones Andes, 2021. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/factor_de_emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_-_informe_2019.pdf.

DAYAN, A. et al. “Obtención de combustibles mediante pirólisis de plásticos”. *Departamento de Química Industrial y Aplicada. F.C.E.F.yN. Universidad Nacional de Córdoba*, vol 1, n° 2 (2019), pp. 42-46.

DÍAZ, M. 2016. *Obtención de combustibles a través de la pirólisis de plásticos de desecho* [en línea]. España: Zaguan.Unizar, 2016. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>.

EPA. “Emisiones de Fuentes móviles México Volumen 3- Factor de Emisión” [en línea],. 2011, (Ecuador) 2(5), pp. 1-34. [Consulta: 20 enero 2023]. ISBN 6701-7204. Disponible en: https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=fuentes+moviles+mexico&inmeta=specialcollection_s~EPA%2BArchive&typeofsearch=area&result_template=archive.

ESACLONA, F. et al. *Pirólisis autotérmica en lecho fluidizado de aserrín de algarrobo*. España: Tecnología Química, 2010, p. 8.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. *Identificación de Plásticos*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, p.1-21

FAXAS ESACLONA, C. et al. “Reactores En Lecho Fluidizado”. *Tecnología Química* [en línea], 2009, (Ecuador) 26,(2), pp. 205-212. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 0041-8420. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543761025>.

FERRE GUTIÉRREZ, J. P. et al. “Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala período 2018-2020”. *Ciencias Técnicas y Aplicadas* [en línea], 2021, 7(5), pp. 78-92. [consulta: 20 enero 2023]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383871&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383871>.

FOESA. “Guía para el cálculo de la huella de carbono en productos acuícolas”. *Scielo* [en línea], 2013, 6(5), p. 63. [Consulta: 13 febrero 2023]. ISSN 2547-8935. Disponible en: [10.3390/molecules27103287](https://doi.org/10.3390/molecules27103287)

FONCODES. *Producción y uso de abonos orgánicos : biol , compost y humus*. Ecuador: Andes Libros, 2014, pp. 9-20.

FRANCO URQUIZA, E. et al. “Reciclado mecánico de residuos plásticos. Caso práctico: Poliestireno de alto impacto para la fabricación de componentes de TV”. *Afinidad* [en línea] vol 73, n° 575 (2016).

FROHMANN, A. & OLMOS, X. *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático* [en línea]. España: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2013. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4101/S2013998rev1.pdf>.

GÓMEZ, A. et al. *Pirólisis de Biomasa: Cuesco de palma de aceite*. Ecuador: Libros Green, 2008, p.1.

GURAV, S. et al. “Pyrolysis of Plastic Waste for Liquid Fuel Production Related papers Liquid Fuel from Plastic Waste using Pyrolysis” *Journal of emerging technologies and innovative research*, vol 2, n°6 (2019), p.2.

HERNÁNDEZ, M.D.R. “Evaluación de la pirólisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado. Influencia de las variables sobre los productos generados” *Revista científica UCE*, vol 5, n°2 (2007), pp. 2-91.

HURLEY, B.R. et al. “Effects of Private and Public Label Packaging on Consumer Purchase Patterns”. *Packaging and Technology and Science* [en línea], 2020, 29(2), pp. 399-412. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 0894-3214. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.893/abstract>.

IPCC. *Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero*. Ecuador: Revista ESPOL, 2016, p.2

KLUG, M. “Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa”. *Revista de Química* [en línea], 2012, 26(2), pp. 37-40. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN. 1254-1019. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>.

LESLIE, P. *Análisis de la cinética química de una mezcla de polipropileno y poliestireno reciclado en presencia de un catalizador a tres tasas de calentamiento*. Ecuador: Impresiones Nuevo amanecer, 2022, p.5.

LÓPEZ, G. et al. “Continuous pyrolysis of waste tyres in a conical spouted bed reactor”. *Fuel*

[en línea], 2010, 89(8), pp. 1946-1952. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 00162361. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2010.03.029>.

MILGROM, J. *Recycling Plastics*. EE.UU: Book S.A, 1975, p.5.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOILUSTRACIÓN. *Factores de Emisión Registro de Huella de Carbono*. Ecuador: Libros Lexis, 2022, p.6.

MOROCHO, S. Obtención de combustible mediante pirólisis térmica a partir de polipropileno reciclado. [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 99. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/13804/1/96T00569.pdf>.

NONES, E. Gestión y técnicas de reciclaje: estudio del escenario actual, aplicaciones y nuevas tendencias. [en línea] (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Politecnica de Cataluña, España. 2019. p. 2. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/173625#.YVxngUa-7ms.mendeley>.

PALMAY, P. “Revalorización energética de residuos plásticos urbanos mediante pirólisis: estudio termodinámico, experimentación, aplicación y usos”. *Scopus* [en línea], 2022, (Ecuador) 12(2), pp. 1-8. [consulta: 20 enero 2023]. ISSN. 5748-9632. Disponible en: [10.3390/molecules27103287](https://doi.org/10.3390/molecules27103287).

PALMAY, P. et al. “Production and Analysis of the Physicochemical Properties of the Pyrolytic Oil Obtained from Pyrolysis of Different Thermoplastics and Plastic Mixtures”. *Molecules*, [en línea], 2022, (Ecuador) 27(10), p.6. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 1420-3049. Disponible en: [DOI 10.3390/molecules27103287](https://doi.org/10.3390/molecules27103287).

PALMAY, P. et al. “Pirolisis de plásticos de invernadero para recuperar ceras líquidas útiles para refinación”. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], 2021, (Ecuador) 5(3), pp. 2463-2476. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN 2707-2215. Disponible en: [10.37811/cl_rcm.v5i3.464](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.464).

PINATOJA, O.G. *Desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno*. Ecuador: Santilla S.A 2020, pp. 119.

QURESHI, K.M. et al. “A technical review on semi-continuous and continuous pyrolysis process of biomass to bio-oil”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], 2018, 131(2), pp. 52-75. [Consulta: 20 febrero 2023]. ISSN 0165-2370. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2018.02.010>.

SOLANO, X. Estudio de mercado para la implementación de un proyecto de reciclaje de Plástico en el distrito Metropolitano de Quito. [en línea], (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Politecnica del Ejercito. 2011. p. 68. [Consulta: 2023-01-23]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5228/1/T-ESPE-033187.pdf>.

VÁZQUEZ MORILLAS A. et al. “El reciclaje de los plásticos”. *Anipac* [en línea], 2020, 1(2), p.17. [Consulta: 20 enero 2023]. ISSN. 2547-9854. Disponible en: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50986069/reciclajeplasticosuam-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1654405227&Signature=RFs6n1SvBjkRJKeMVukTVkddWWgh5SHLAKZFiHifqVKI93yWwbosIKf-YnGHYSJ7sH0aYUYPD22HFDQ~rvSluqFJtsC3CTS8wcNm94Y-OK20LI4314O1dxjHphcjZ0Pqd1CmW>.



ANEXOS

ANEXO A: GUIA PARA EL CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO, MINISTERIO DE TRANSICION ECOLOGIA DE ESPAÑA

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de FOESA o el de los colaboradores consultados cuya relación no es vinculante con el proyecto que enmarca esta guía.
Esta publicación ha sido posible gracias a la colaboración de la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Publicado por: Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid.



Derechos reservados: © 2013 Fundación Observatorio Español de Acuicultura
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.

Citación: FOESA (2013). Guía para el cálculo de la huella de carbono en productos acuícolas. FOESA, Madrid, España. 64 páginas.

Diseño, edición y maquetación: Gonzalo Used

Fotografía portada y pg.8: Staff, Santa Barbara Coastal Long Term Ecological Research project

Disponible en:

www.fundacionoesa.es

También existe a disposición un catálogo de las publicaciones de FOESA en:

www.fundacionoesa.es/publicaciones



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.



Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

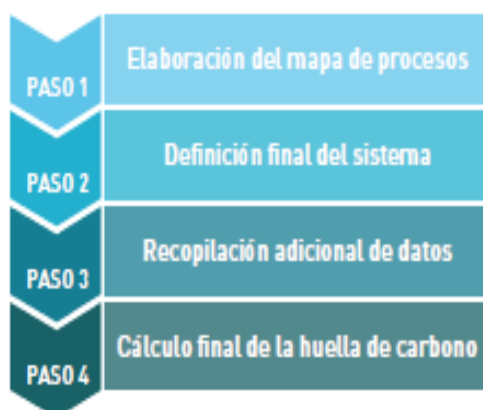
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPD: 280-13-248-1

4. PASOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PRODUCTO

Una vez que la empresa u organización decide dar el paso para calcular la huella de carbono de uno o varios de sus productos, esta deberá definir los objetivos y alcances de su estudio, realizar un análisis de inventario de los datos, clasificarlos y caracterizar los impactos para su posterior interpretación. El dato último obtenido de la huella de carbono puede tener varias utilidades: aplicaciones directas al producto, establecer mejoras ambientales a través de planes estratégicos, políticas públicas, etc.

Por lo tanto, se deben seguir los siguientes pasos anteriormente mostrados y definidos por la PAS 2050, estos son:



4.1 Elaboración del mapa de procesos

Se elabora un mapa de procesos del ciclo de vida del producto, desde las materias primas hasta el fin de la vida útil (dependiendo del alcance a elegir) del producto, incluyendo todos los materiales, la energía y los residuos generados (Fig.7).

Con este mapa se pretende identificar todos los materiales, actividades y procesos que forman parte de la producción del producto. Esto conlleva un proceso de brainstorming (tormenta de ideas) que, posteriormente, servirá como herramienta de gran utilidad a lo largo de todo el ejercicio del cálculo sirviendo como referencia gráfica y guía tanto para la recopilación de datos como para el propio cálculo.

Se comienza separando los componentes del producto seleccionado (materias primas, empaquetado, etc.). Hay que centrarse primero en las entradas más significativas e identificar sus respectivas entradas, procesos de fabricación, condiciones de almacenamiento y requisitos de transporte. La unidad funcional es aquella a la que se van a referir las entradas

- Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>
- Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html
- IPCC 4th Assessment Report, 2007: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm

Inventario Nacional de Emisiones de gases de efecto invernadero e información adicional. Años 1990-2011.

- Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones de España. Años 1990-2009: "Factores de emisión del CO₂ y PCI de los combustibles": [http://www20.gencat.cat/docs/carvidimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20de%20emissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20de%20emissio/Documents/Anexo%20-%20Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20\(2011\).pdf](http://www20.gencat.cat/docs/carvidimatic/Home/Comerc%20de%20drets%20de%20emissio/Procediment%20per%20al%20tramit%20dautoritzacio/Factors%20de%20emissio/Documents/Anexo%20-%20Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20(2011).pdf)

Ministerio de Medio Ambiente, 2007:

- Análisis de la Huella Ecológica en España, 2007. Minuartia Estudis Ambientals en colaboración con Estudio MC e Instituto de Economía Pública. Universidad del País Vasco.

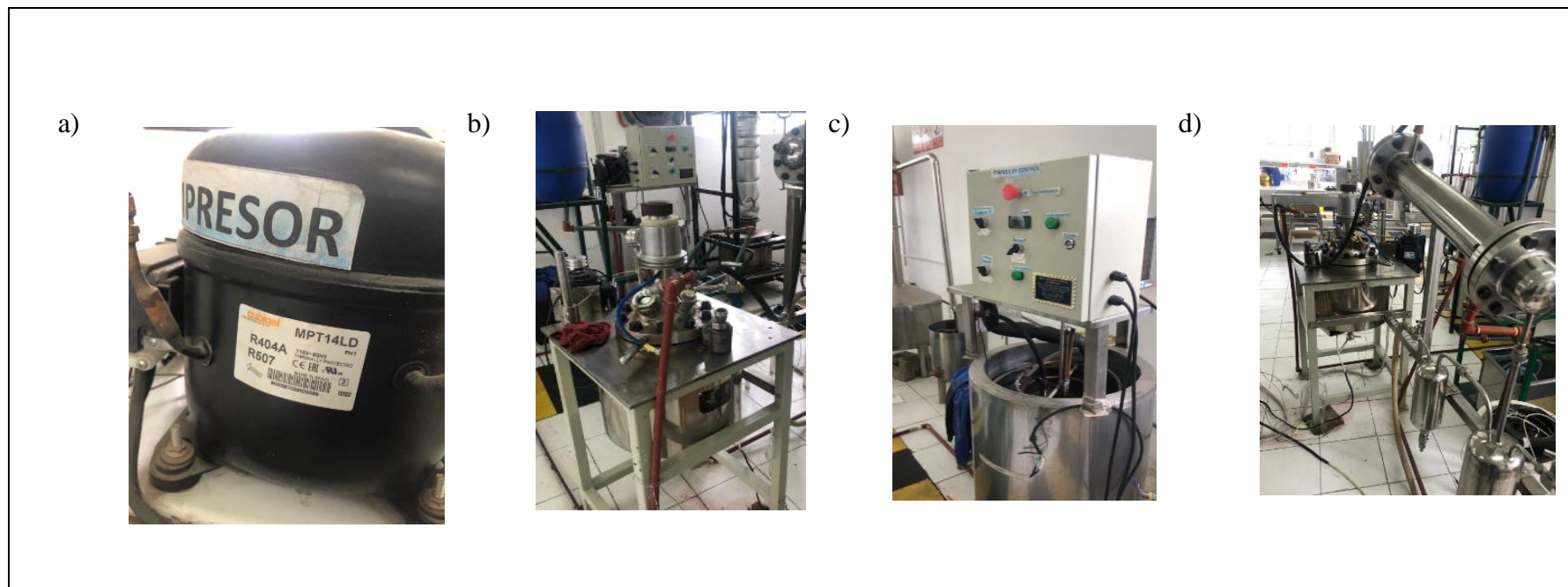
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008

- Análisis de la Huella Ecológica en España, 2008. Minuartia Estudis Ambientals en colaboración con Estudio MC e Instituto de Economía Pública. Universidad del País Vasco.

Oficina Catalana del Canvi Climàtic

- Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Versión 2011 (marzo 2012). Generalitat de Catalunya. Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.

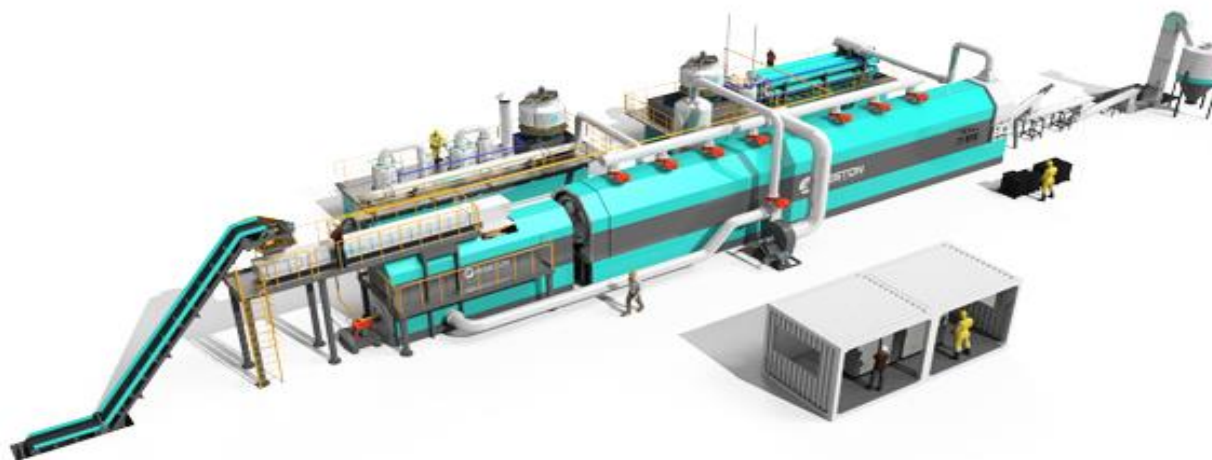
ANEXO B: EQUIPO DE PIROLISIS DISCONTINUA ESPOCH



| NOTAS | CATEGORÍA DE DIAGRAMA | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA AMBIENTAL REALIZADO POR: Barzola Núñez Alex Rodrigo | TEMA: “CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PIROLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS” | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--|---------------|---------------|--------------|
| a) Motor/ sistema de refrigeración. b) Motor/ reactor. c) Panel de control. d) Equipo de pirolisis ESPOCH. | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>APROVADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROVAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table> | <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | <input type="checkbox"/> | APROVADO | <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | LÁMINA | ESCALA | FECHA |
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | APROVADO | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 1:1 | 2023/03/20 | | | | | | | | | | |

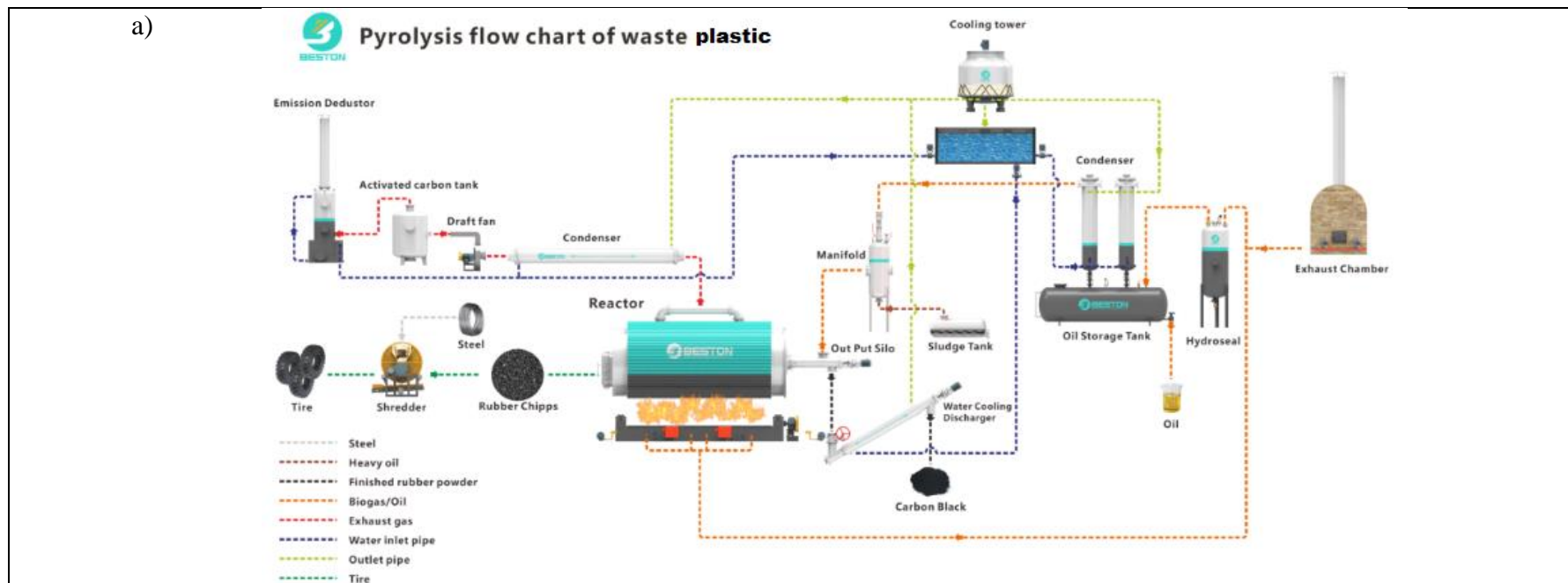
ANEXO C: EQUIPO DE PIROLISIS BESTON CONTINUA BLL 30

a)



| NOTAS | CATEGORÍA DE DIAGRAMA | <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>REALIZADO POR: Barzola Núñez Alex Rodrigo</p> | <p>TEMA: “CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PIROLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS”</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|---|----------------------------------------------------------------------------|--------|-----|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>a. Equipo de pirólisis continua Beston BLL30</p> | <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROVADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROVAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table> | | <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | <input type="checkbox"/> | APROVADO | <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | <table border="1"> <tr><th>LÁMINA</th></tr> <tr><td>1</td></tr> </table> | LÁMINA | 1 | <table border="1"> <tr><th>ESCALA</th></tr> <tr><td>1:1</td></tr> </table> | ESCALA | 1:1 | <table border="1"> <tr><th>FECHA</th></tr> <tr><td>2023/03/20</td></tr> </table> | FECHA |
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | APROVADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LÁMINA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESCALA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1:1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2023/03/20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO D: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PIROLISIS CONTINUA BESTON BLL 30



| NOTAS | CATEGORÍA DE DIAGRAMA | <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA AMBIENTAL</p> <p>REALIZADO POR: Barzola Núñez Alex Rodrigo</p> | TEMA: | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>b. Esquema funcionamiento equipo BESTON BLL 30 CONTINUO</p> | <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROVADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROVAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table> | | <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | <input type="checkbox"/> | APROVADO | <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | <p>“CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PIROLISIS DE RESIDUOS PLÁSTICOS”</p> | |
| <input type="checkbox"/> | CERTIFICAR | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | APROVADO | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR APROVAR | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | POR CALIFICAR | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | POR VERIFICAR | | | | | | | | | | | | | |
| | | | LÁMINA | ESCALA | FECHA | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 1:1 | 2023/03/20 | | | | | | | | | |



esPOCH

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19/ 05 / 2023

| |
|------------------------------------------------------------------------------|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: Alex Rodrigo Barzola Núñez |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: Ciencias |
| Carrera: Ingeniería Ambiental |
| Título a optar: Ingeniero Ambiental |
| f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo |



0800-DBRA-UPT-2023