

CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN COMBUSTIBLES

Bernal Bermúdez, Andres David (1), García Guendulain, Juan Manuel (2), Riesco Ávila, José Manuel (2)

1 [Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomas, Sede Bogotá] | [andres.bernalb@ustantotomas.edu.co]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [riesco@ugto.mx]

Resumen

Los residuos plásticos sólidos han tenido un gran impacto en la generación de basura, debido al gran consumo que estos tienen, pues estos son generados mediante los productos que adquirimos día a día, tales como: botellas de refresco, leche, detergentes, aceites, salsa, etc. En el presente trabajo se muestra un método de reciclaje térmico para el tratamiento de desechos plásticos sólidos, el cual consiste en someter a los residuos plásticos a un proceso de pirólisis para la obtención de hidrocarburos, los cuales pueden ser utilizados en motores de combustión interna. En esta investigación se realizaron 8 pruebas de pirólisis, a partir de una mezcla entre polietileno de alta densidad (HDPE), específicamente del bote lechero y polipropileno (PP), las cuales se realizaron a 400 °C 425°C y 450°C.

Abstract

The solid plastic waste has had a great impact on the generation of garbage, due to the high consumption they have, because they are generated by the products that we acquire day by day, such as: soft drink bottles, milk, detergents, oils, sauce, etc. This paper shows a method of thermal recycling for the treatment of solid plastic waste, which consists of subjecting the plastic waste to a process of pyrolysis to obtain hydrocarbons, which can be used in internal combustion engines. In this investigation 8 pyrolysis tests were carried out, from a mixture between high density polyethylene (HDPE), specifically from the milk and polypropylene (PP) boat, which were carried out at 400 °C 425 °C and 450 °C.

Palabras clave:

Reciclado de Plásticos; Pirólisis; HDPE; PP.

INTRODUCCIÓN

Un método de obtención de combustibles líquidos a partir del desperdicio plástico es la pirólisis rápida [1], la cual consiste en descomponer térmicamente, en ausencia de oxígeno, con un horno que se encuentra generalmente en vacío y utilizando gases de arrastre (por ejemplo, argón, helio, hidrogeno o nitrógeno) [2]. Una vez se hace reaccionar el material en el pirolizador, los gases provenientes son condensados para obtener el combustible líquido, este proceso se lleva a cabo con diferentes temperaturas en el rango de 350 °C a 600 °C [3], lo que permite degradar los polímeros hasta estructuras moleculares más pequeñas que su estructura original. En algunos procesos donde se lleva a cabo la pirólisis, se pueden usar agentes catalizadores que ayudan a una mejor despolimerización llevando los plásticos a sus monómeros iniciales, permitiendo así reducir las temperaturas del proceso llevándolas hasta 500°C y no hasta los 600°C como es lo más común [4], esto permite obtener un menor consumo energético al no tener que llevar el horno hasta esta temperatura y llevar la degradación de polímeros hasta unidades menores a C20 (número de carbonos) lo que evita la creación de parafinas dentro del proceso.

Los mejores plásticos sobre los cuales se puede realizar el proceso de pirólisis para obtener combustibles líquidos son el Polietileno de alta densidad HDPE (High Density Polyethylene), polietileno de baja densidad LDPE (Low Density Polyethylene) y el polipropileno (PP), debido a que en el momento de realizar el proceso de pirólisis se rompen en cadenas más cortas de carbono e hidrógeno, lo cual los hace similares a los hidrocarburos [5]; esto en comparación de otros polímeros que poseen componentes diferentes entre sus cadenas, como es el caso del policloruro de vinilo (PVC), que al realizar el proceso de pirólisis libera cloro en el gas producido y lo hace contaminante [6].

La pirólisis de HDPE, LDPE y PP permiten obtener rendimientos de combustible líquidos entre 50% y 98% a temperaturas de 350 a 600 °C [7], si se tiene temperaturas inferiores el polímero no empieza su despolimerización térmica y a temperaturas mayores se aumenta la producción de gas, estos productos líquidos obtenidos partir de la pirólisis contienen una alta energía por unidad de masa, llegando a tener un poder calorífico superior de 43 MJ/kg en comparación con el diésel que tiene 44,94 MJ/Kg [6]. En este trabajo el proceso de pirólisis de mezclas de plásticos HDPE y PP ha sido llevado a cabo en un reactor tipo batch y analizar su efecto en la producción de hidrocarburos líquidos, así como sus características.

MATERIALES Y MÉTODOS

Equipos

Un reactor tipo Batch el cual alcanza una temperatura máxima de operación de 450°C trabajando a presión atmosférica, cuenta con un sistema de calentamiento por medio de dos resistencias eléctricas ubicadas en la parte inferior y superior del reactor las cuales se controlan por medio de un PLC que permite fijar la temperatura superior e inferior en una pantalla táctil. El tiempo de operación es de aproximadamente 3 horas donde el tiempo para alcanzar la temperatura fijada es alrededor de 40 min aproximadamente. El equipo cuenta con un control en donde si se alcanza la temperatura de 500 °C el equipo se apaga al instante como medida de seguridad.

Para el análisis de la composición química del hidrocarburo líquido se utilizó un cromatógrafo Varian 450 GC. Las principales características de este equipo se muestran a continuación: **Detector:** FID en rango x10⁻¹¹, Temperatura: 300 °C, Combustible: Hidrógeno a 300 cc/min, Oxidante: aire a 300 cc/min, maquillaje: helio a 30 cc/min. **Inyector:** a 300 °C. **Relación:** 450:1 (flujo de ventilación 6.78 cc/min). **Temperatura del programa:** inicial: 35 °C por 15 min, rampa 1:1 grados/min a 60 °C; sostén 1:20 min, rampa 2: 2 grados/min a 200 °C; sostén 2:0 min, tiempo total: 130 min.

Para la obtención de la viscosidad y gravedad específica de cada muestra se utilizaron un viscosímetro Cannon-Fenske y un picnómetro cuyas especificaciones se muestran a continuación. La viscosidad se determinó mediante la norma ASTM D445, ASTM D446, ISO 3104, ISO 3105 y IP71. La viscosidad se determinó a 40 °C donde la norma indica que la constante que para esa temperatura es de 0.5155, el rango del equipo es de 0,2-300 000 cSt(mm²/s). Tiene una capacidad: 50 ml y un termómetro de alcohol.

Procedimiento

Se realizaron 8 pruebas de 500 kg mezclando la proporción de polietileno de alta densidad con polipropileno cada una variando el porcentaje de HDPE del 15%, 25%, 50%, 75% hasta el 85% con temperaturas de 400 °C y 425 °C durante un periodo de 3 horas como se muestra en la Tabla 1. Se realizaron mediciones de densidad, viscosidad y de cromatografía a las muestras obtenidas. El proceso comienza con la clasificación del material de HDPE (High Density Polyethylene) a partir del bote lechero que queda como residuo en los hogares de la ciudad de Salamanca, Gto, este posteriormente es cortado en trozos lo suficientemente pequeños para ingresar en el pirolizador.

Tabla 1: Porcentajes de mezclas en las diferentes muestras

Pruebas	HDP (%)	PP (%) (%)	Temperatura. (°C)
	50,0	50,0	425
	50,0	50,0	425
	15,0	85,0	425
	85,0	15,0	425
	25,0	75,0	450
	75,0	25,0	450
	25,0	75,0	400
	75,0	25,0	400

Una vez culminado el proceso de pirólisis se tomaron datos de la masa obtenida de los residuos dentro del reactor, así como del producto líquido y/o ceroso obtenido durante el proceso. El producto líquido ha sido filtrado en repetidas ocasiones hasta eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos. Como paso siguiente se debe decantar todos los productos líquidos para poder hacer las pruebas de viscosidad, densidad y de cromatografía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3 donde se muestra la producción de líquido, gas y residuos sólidos, además de las diferentes propiedades de los productos como la gravedad específica, la viscosidad y el poder calorífico, donde los dos primeros se obtuvieron mediante experimentación mientras que el poder calorífico bruto ha sido obtenido mediante el análisis cromatográfico. El cual también permite determinar los compuestos principales de los hidrocarburos. El compuesto que presenta mayor cantidad dentro de las diferentes pruebas es el 2,5 dimetilheptano en la prueba 3 y la prueba 7 como se observa en la tabla 3, en ambas pruebas el porcentaje de HDPE era del 15 % y 25% respectivamente. Por otro lado, la prueba 5 y la prueba 6 dieron como resultado ceras lo cual no permite realizar prueba de viscosidad, densidad y de cromatografía.

Tabla 2: Productos obtenidos de pirólisis en las diferentes pruebas

Parámetro	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8
Líquido [%]	60,8	83	62,8	0	6,8	62,4	34,4
Gas [%]	12	9,2	8,4	7,6	14	15,2	24,4
Cera [%]	21,2	5,8	23,6	88,4	78,4	11,6	2
Residuos [%]	6	2	5,2	4	0,8	18,8	39,2
Gravedad Específica	0,7574	0,7581	0,7683	[-]	[-]	0,7666	0,7633
Viscosidad [cSt]	2,23	2,25	2,59	[-]	[-]	1,8	1,8
Gross Heating Value [kJ/kg]	45,959	45,966	45,793	[-]	[-]	46,072	46,369
Peso molecular [g/kmol]	143,41	138,87	147,01	[-]	[-]	134,75	128,91
Parafinas [%]volumen	42,61	48,26	36,51	[-]	[-]	51,19	58,24
Naftas [%]volumen	3,72	5,28	8,64	[-]	[-]	5,21	4,92
Aromáticos [%]volumen	3,69	7,07	4,22	[-]	[-]	7,85	6,5
2,5-dimetilheptano [%]masa	14,604	22,617	0	[-]	[-]	21,615	14,921
Pentano [%]masa	2,936	3,91	1,58	[-]	[-]	3,278	2,101
Hexano [%]masa	0,686	[-]	1,276	[-]	[-]	0,274	1,161
Benceno [%]masa	0	0,555	[-]	[-]	[-]	0,523	0,388
Heptano [%]masa	1,423	0,622	[-]	[-]	[-]	0,775	2,293
Tolueno [%]masa	0	0,361	[-]	[-]	[-]	0,363	0,378
Octano [%]masa	0	0,533	2,698	[-]	[-]	0,686	2,598
Nonano [%]masa	1,344	0,406	2,552	[-]	[-]	0,558	2,351
Decano [%]masa	1,496	0,539	2,787	[-]	[-]	0,673	2,629

La producción de parafinas a 400 °C aumenta cuando se aumenta el porcentaje de HDPE, mientras que a 425 °C éstas disminuyen a medida que se aumenta el porcentaje de HDPE, esto podría ser al tiempo que tarda el material su descomposición ya que mientras a 400 °C puede que no todo el material se alcance a degradar térmicamente, mientras que a 425 °C se garantiza que una mayor parte del material se ha degradado. Para comprobar esto se recomienda realizar un prueba intermedia entre el 25% y el 75% de HDPE en la mezcla para corroborar lo esta hipótesis. En la imagen 1 se muestra el porcentaje en masa de los compuesto parafinas, naftalenos, aromáticos y desconocidos y como varían estos a mediada que cambia el porcentaje de polietileno, dando la mayor cantidad de parafinas con un bajo porcentaje de HDPE, mientras que el valor de los compuestos desconocidos aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de HDPE manteniendo la temperatura en 425 °C.

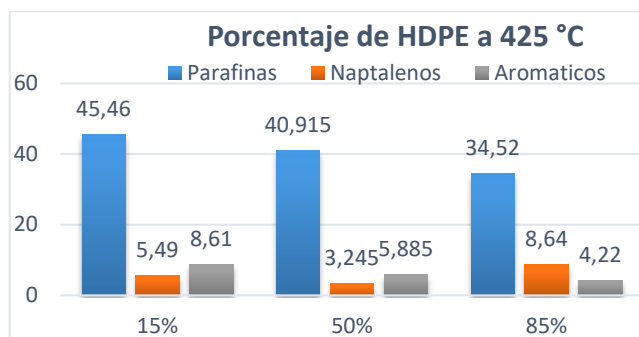


IMAGEN 1. PORCENTAJE DE HDPE A 425 °C

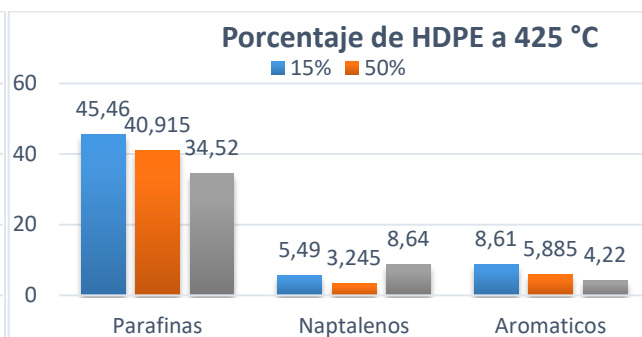


IMAGEN 2 PORCENTAJE DE HDPE A 425 °C

En la imagen 2 se observa como es el comportamiento de los diferentes compuestos a medida que cambia el porcentaje de HDPE en la mezcla, esto para las pruebas 2,3 y 4 que fueron las únicas que se realizaron al 425°C. A los 400 °C los productos predominantes son las parafinas y los desconocidos predominando este último cuando el porcentaje de Polietileno de alta densidad es de 75% como se puede observar en la imagen 3.

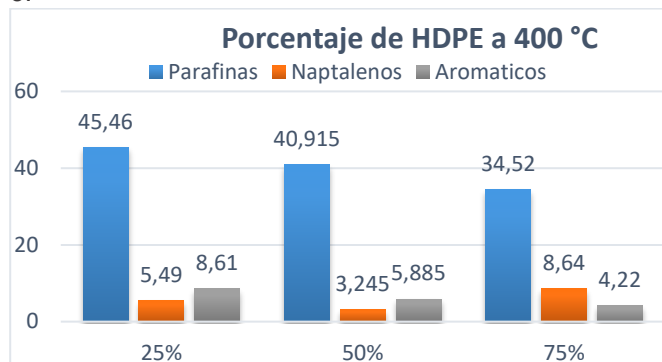


IMAGEN 3 PORCENTAJE DE HDPE A 400 °C

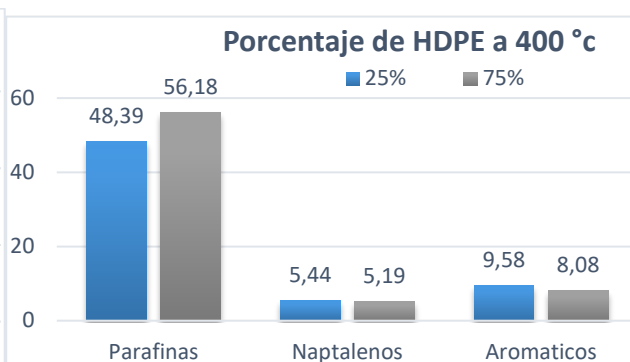


IMAGEN 4 PORCENTAJE DE HDPE A 400 °C

La imagen 3 evidencia como las parafinas son los productos predominantes en los productos de pirólisis. El poder calorífico alcanzado por los diferentes productos se encuentra entre 45,793 hasta 46,372 kJ/kg lo cual lo hace muy similar a los hidrocarburos como la gasolina que es de 46,748, inclusive por encima de ellos, el valor más alto se alcanzó en la prueba 8, por lo que lo hacen muy similares y no solo por el poder calorífico sino también por la similitud en la gravedad específica y en la viscosidad.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado experimentalmente el proceso de pirólisis para la relación PP/HDPE para la producción de hidrocarburos líquidos, lo cual ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

Se comprobó que a medida que la temperatura aumenta en el proceso de pirólisis, se aumenta la producción de ceras, esto concordando con lo reportado en diferentes estudios, esto se puede deber a que el equipo calienta la mezcla de manera muy rápida lo que no permite un rompimiento de las cadenas de carbono e hidrógeno adecuado ya que debe mantenerse la temperatura en ciertos puntos antes de seguir aumentando. La mayor producción de hidrocarburo líquido se obtuvo a una temperatura de 425 °C y a una baja masa de HDPE.

Propiedades como el poder calorífico, densidad, la viscosidad y la composición química obtenidos en las diferentes relaciones PP/HDPE son comparables con las de los combustibles convencionales.

El incremento de la cantidad de HDPE con respecto al PP produce que el poder calorífico se incremente de igual manera, sin embargo, existe una reducción en cuanto a la producción de hidrocarburos líquidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a la Universidad de Guanajuato y Santo Tomás de Colombia, por realizar estos convenios, que no solo destacan por su oportunidad académica sino la experiencia que brindan a todos los estudiantes participantes, al Dr. José Manuel Riesco Ávila y al M. en I. Juan Manuel García Guendulain por su acompañamiento y guía durante el trabajo, por último a mi familia por ser un gran apoyo y brindarme varias herramientas para poder estar hoy acá.

REFERENCIAS

- [1] Ayhan Demirbas, *Biofuels*. 2008.
- [2] A. R. Auxilio, W. L. Choo, I. Kohli, S. Chakravartula Srivatsa, and S. Bhattacharya, "An experimental study on thermo-catalytic pyrolysis of plastic waste using a continuous pyrolyser," *Waste Manag.*, vol. 67, pp. 143–154, 2017.
- [3] Q. Lu, W. Z. Li, and X. F. Zhu, "Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 5, pp. 1376–1383, 2009.
- [4] P. O. Jatni and D. Khurda, "Thermo-catalytic degradation of low density polyethylene to liquid fuel over kaolin catalyst," *EurekaAlert*, vol. 13, no. 1, pp. 104–114, 2014.
- [5] M. Sogancioglu, E. Yel, and G. Ahmetli, "Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars," *J. Clean. Prod.*, vol. 165, pp. 369–381, 2017.
- [6] A.K. Panda, "Studies on process optimization for production of liquid fuels from waste plastics," 2011.
- [7] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 308–326, 2016.
- [8] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "Energy recovery from pyrolysis of plastic waste: Study on non-recycled plastics (NRP) data as the real measure of plastic waste," *Energy Convers. Manag.*, vol. 148, pp. 925–934, 2017.
- [9] A. Demirbas, "Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 72, no. 1, pp. 97–102, 2004.
- [10] S. Dayana, A. Sharuddin, F. Abnisa, W. Mohd, and A. Wan, "A review on pyrolysis of plastic wastes," vol. 115, pp. 308–326, 2016.
- [11] C. Areeprasert et al., "Municipal Plastic Waste Composition Study at Transfer Station of Bangkok and Possibility of its Energy Recovery by Pyrolysis," *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 222–226, 2017