

Reciclaje térmico-catalítico de Polietileno tereftalato (PET)



Colaboración

José Nolasco Cruz, Universidad de Guanajuato; Irma Pérez Hernández; Arturo Rivera López; Angélica Pérez Hernández; Diana Ivette Montejo Arroyo, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: El polietileno tereftalato (PET) es uno de los plásticos con mayor demanda a nivel comercial, ya que, puede ser encontrado en casi todos los productos envasados, como son, botellas de refrescos, envases plásticos, y film para embalaje. Esto ha generado serios problemas ambientales debido a su disposición como un residuo sólido.

El presente trabajo se concentra en estudiar mediante su degradación térmica-catalítica el reciclaje alternativo del PET. El estudio experimental se llevó a cabo en un reactor tipo batch a temperaturas de 300 a 600 °C con incrementos de 50 °C/h, midiendo la demanda de energía eléctrica consumida con el fin de obtener las eficiencias energéticas del proceso.

PALABRAS CLAVE: PET, Reciclaje alternativo- degradación térmica-catalítica.

ABSTRACT: Polyethylene terephthalate (PET) is one of the plastics with the greatest commercial demand, since it can be found in almost all packaged products, such as soft drink bottles, plastic containers, and packaging film. This has generated serious environmental problems due to its disposal as solid waste.

The present work focuses on studying the alternative recycling of PET through its thermal-catalytic degradation. The experimental study was carried out in a batch reactor at temperatures of 300 to 600 °C with increments of 50 °C/h, measuring the demand for electrical energy consumed in order to obtain the energy efficiencies of the process.

KEYWORDS: PET, Alternative recycling-thermal-catalytic degradation.

INTRODUCCIÓN

La alza en el consumo de combustibles y energía a nivel mundial, el desabasto en las fuentes de petróleo y aumento en los productos obtenidos directamente del petróleo, han comenzado por motivar a los investigadores de diversos ramos a buscar fuentes alternas de energía y producción de materias primas. Por otra parte, tanto a nivel nacional como internacional se ha comenzado a presentar graves problemas por la disposición de residuos sólidos urbanos, ocasionando impactos ambientales perjudiciales.

La degradación térmica o pirólisis es un proceso que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, esta puede ser lenta o rápida dependiendo de los tiempos de residencia del proceso [1]. Algunos autores han estudiado este proceso con diferentes tipos de plásticos tales como: polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), poliestireno (PS) [2]-[10], neumáticos [11], [12], polietileno tereftalato [13]-[15]. Los productos obtenidos de la degradación térmica muestran características importantes que deben ser consideradas, como son: alto poder calorífico (40 MJ/kg), densidad y viscosidad similares a los combustibles tradicionales. Autores como Jia H. et. al., [16] han estudiado la adición de catalizadores en el proceso de pirólisis y han observado mejoras en el proceso de degradación. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la degradación térmica-catalítica del polietileno tereftalato en presencia de hidróxido (CaOH₂) de calcio como catalizador tomando en cuenta las eficiencias energéticas del proceso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales

El PET fue recolectado de botellas plásticas de refresco y se cortaron en pequeñas piezas de un aproximado de 2 cm, un reactor prototipo tipo semi-batch de 1 kg de capacidad interconectado a un control de temperatura Figura 1. Analizador de energía marca: "peacefear".

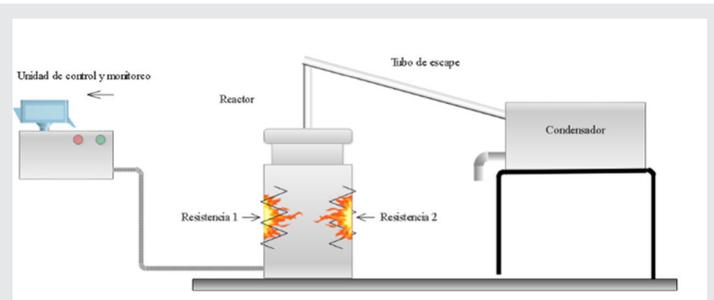


Figura 1.- Esquema experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología experimental y análisis de eficiencias

El procedimiento experimental se realizó con 300 y 400 g de botellas plásticas con una relación de hidróxido de calcio como catalizador con una relación PET/catalizador de 2:1. La degradación térmica-catalítica se realizó de manera escalonada de 300 a 600 °C con incrementos de 50 °C/h Tabla 1.

La eficiencia energética fue evaluada de acuerdo con la ecuación 1 y 2:

$$\frac{dE}{dT} = E_{int} - (E_{liq} + E_{gas} + E_{car}) \quad \text{Ec.1}$$

Donde: E_{int} , es la energía de entrada del PET y la energía demandada por el reactor, E_{liq} , es la energía

contenida en el líquido, E_{gas} , es la energía contenida en los gases no condensables, E_{car} , es la energía contenida en el carbón.

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{int}} \quad \text{Ec.2}$$

Donde: η , es la eficiencia energética del proceso, E_{out} , es la energía de los productos, E_{int} , es la energía de entrada.

Tabla 1.- Diseño experimental.

Prueba	Masa (g)	Temperatura (°C)
PET 41	300	300-600
PET 42	400	300-600

Fuente: Elaboración propia.

La cuantificación de los productos se realizó mediante diferencia de masas, y fueron separados en líquido, gaseoso y sólido y se calcularon acorde a la ecuación 3:

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^3 m_i} \cdot 100 \quad \text{Ec.3}$$

Donde m_i es la masa de los productos, el porcentaje de gas fue calculado por diferencia de masas (sólido, líquido), acorde a la ecuación 4.

$$\text{Rendimiento} = 100 - m_l - m_s \quad \text{Ec.4}$$

RESULTADOS

Se obtuvieron diferentes productos de la degradación térmica del polietileno tereftalato (PET), la mayor fracción, aproximadamente de 50%, fue de composición sólida, de acuerdo con Chao Li et al., [17] es un producto compuesto de alquitrán, catalizador, y carbón cuyo poder calorífico se encuentra en el orden de 31 MJ/kg. El rendimiento gaseoso se encontró en aproximadamente 32- 34% cuya composición está basada en gases como el metano, etano, hidrogeno, CO, CO₂ y pueden ser considerados como productos de alto valor agregado con un uso potencial en los productos comerciales [40]. Por último, se obtuvo un producto en estado líquido con un rendimiento aproximado de 15 al 16 %, en el cual se pueden encontrar principalmente productos conocidos como hidrocarburos aromáticos, la composición química principal fueron benceno, estireno, tolueno, los cuales sirven como productos bases para la formulación de compuestos químicos de alto valor comercial o en su mayoría utilizados por la industria petroquímica para la reformulación de gasolinas o aditivos [40] Figura 2.

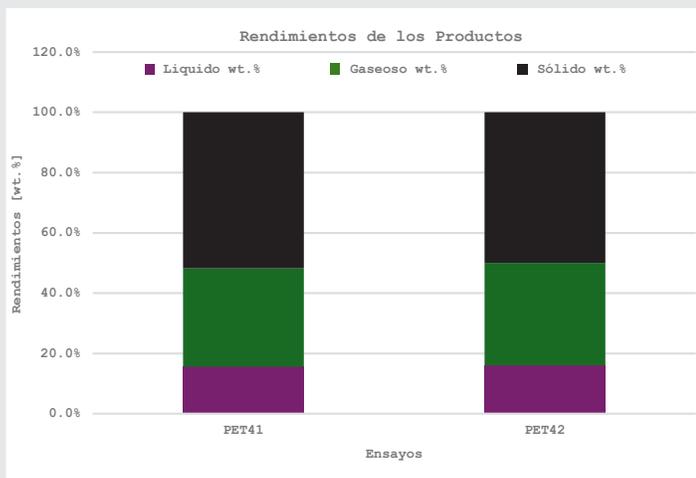


Figura 2.- Rendimientos de los productos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se muestran las diferencias de rendimientos para cada uno de los productos obtenidos, principalmente las diferencias de cada uno tienen que ver con la estructura polimérica del PET, debido a esta razón la degradación térmica del PET, requiere una alta temperatura. Por otra parte el PET representa la mayor tasa de compuestos volátiles de acuerdo con su análisis proximal [18], por esta razón la mayoría de los productos que pueden ser obtenidos son gases o sólidos. En cuanto a la influencia de la masa, se observaron un pequeño porcentaje superior de gases no condensables, y ligeramente un mayor rendimiento líquido.

Tabla 2.- Rendimientos de productos.

Prueba	Líquido	Gaseoso	sólido
PET 41	15.6%	32.7%	51.8%
PET 42	16 %	34 %	50 %

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los análisis en las eficiencias energéticas se observó que el proceso fue mas eficiente con una masa de 400 g, ya que, puede obtenerse una mayor cantidad de productos líquidos y gaseosos los cuales contienen poderes caloríficos mayores al igual que un valor comercial superior, por ende, se observa que el sistema es más eficiente con mayores cantidades de masa.

CONCLUSIONES

El reciclaje de PET mediante degradación térmica-catalítica resulta ser un método alternativo viable ambiental, para aquellos residuos que han sido contaminados o que no pueden ser reciclados mediante métodos tradicionales, ya que, a través de su degradación pueden recuperarse productos de alto valor energético cercano a 43 MJ/kg, los rendimientos obtenidos suelen ser elevados y las eficiencias energéticas por arriba

del 60%, se recomienda desarrollar tecnologías que permitan mejorar las eficiencias de los procesos de degradación al igual que el estudio con otros catalizadores a fin de economizar y hacer más eficiente el proceso de degradación.

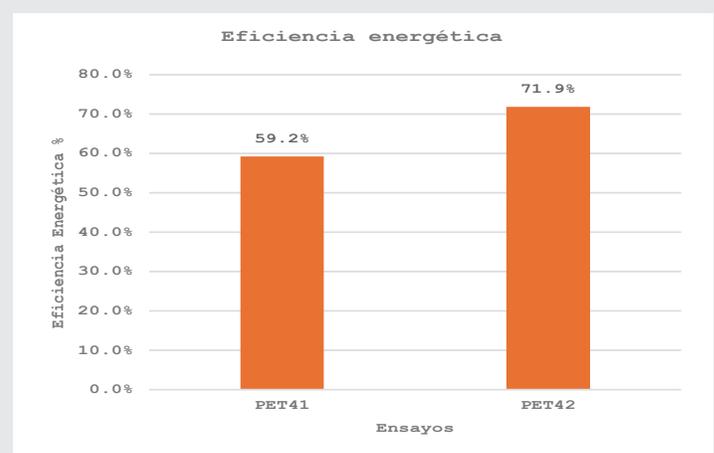


Figura 3.- Eficiencias energéticas del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de este proyecto mediante un programa de beca escolar.

BIBLIOGRAFÍA

[1] F. Calderón Sáenz, "La Producción de Combustibles Vehiculares a partir de Plásticos de Deshecho," pp. 1-226, 2016, [Online]. Available: <http://www.cynarplc.com>.

[2] D. S. Scott, S. R. Czernik, J. Piskorz, and D. S. A. G. Radlein, "Fast Pyrolysis of Plastic Wastes," *Energy and Fuels*, vol. 4, no. 4, pp. 407-411, 1990, doi: 10.1021/ef00022a013.

[3] H. T. Lin, M. S. Huang, J. W. Luo, L. H. Lin, C. M. Lee, and K. L. Ou, "Hydrocarbon fuels produced by catalytic pyrolysis of hospital plastic wastes in a fluidizing cracking process," *Fuel Processing Technology*, vol. 91, no. 11, pp. 1355-1363, 2010, doi: 10.1016/j.fuproc.2010.03.016.

[4] W. L. Yoon, J. S. Park, H. Jung, H. T. Lee, and D. K. Lee, "Optimization of pyrolytic coprocessing of waste plastics and waste motor oil into fuel oils using statistical pentagonal experimental design," *Fuel*, vol. 78, no. 7, pp. 809-813, 1999, doi: 10.1016/S0016-2361(98)00207-5.

[5] A. A. Garforth, Y. H. Lin, P. N. Sharratt, and J. Dwyer, "Production of hydrocarbons by catalytic degradation of high density polyethylene in a laboratory fluidised-bed reactor," *Applied Catalysis A:*

- General, vol. 169, no. 2, pp. 331–342, 1998, doi: 10.1016/S0926-860X(98)00022-2.
- [6] G. Elordi et al., “Catalytic pyrolysis of HDPE in continuous mode over zeolite catalysts in a conical spouted bed reactor,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 85, no. 1–2, pp. 345–351, 2009, doi: 10.1016/j.jaap.2008.10.015.
- [7] S. C. Cardona and A. Corma, “Tertiary recycling of polypropylene by catalytic cracking in a semibatch stirred reactor. Use of spent equilibrium FCC commercial catalyst,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 25, no. 2–3, pp. 151–162, 2000, doi: 10.1016/S0926-3373(99)00127-7.
- [8] S. S. Kim and S. Kim, “Pyrolysis characteristics of polystyrene and polypropylene in a stirred batch reactor,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 98, no. 1–2, pp. 53–60, 2004, doi: 10.1016/S1385-8947(03)00184-0.
- [9] M. F. Ali, S. Ahmed, and M. S. Qureshi, “Catalytic coprocessing of coal and petroleum residues with waste plastics to produce transportation fuels,” *Fuel Processing Technology*, vol. 92, no. 5, pp. 1109–1120, 2011, doi: 10.1016/j.fuproc.2011.01.006.
- [10] N. Miskolczi, A. Angyal, L. Bartha, and I. Valkai, “Fuels by pyrolysis of waste plastics from agricultural and packaging sectors in a pilot scale reactor,” *Fuel Processing Technology*, vol. 90, no. 7–8, pp. 1032–1040, 2009, doi: 10.1016/j.fuproc.2009.04.019.
- [11] M. N. Islam, M. N. Islam, and M. R. A. Beg, “The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh,” *Bioresource Technology*, vol. 92, no. 2, pp. 181–186, 2004, doi: 10.1016/j.biortech.2003.08.009.
- [12] S. Ucar, S. Karagoz, A. R. Ozkan, and J. Yanik, “Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis,” *Fuel*, vol. 84, no. 14–15, pp. 1884–1892, 2005, doi: 10.1016/j.fuel.2005.04.002.
- [13] M. Engineering, “Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis,” vol. 75, pp. 263–270, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.06.036.
- [14] N. Usman and M. I. M. Masirin, *Performance of asphalt concrete with plastic fibres*. Elsevier Ltd, 2019.
- [15] S. V. S. G. N. J. V. L. P. R. G. K. R. A. K. Kelkar, “Degradation and Recyclability of Poly(Ethylene Terephthalate),” in *Intech*, 2012, p. 13.
- [16] T. Pet and N. Chloride, “Catalytic Fast Pyrolysis of Poly (Ethylene Terephthalate) (PET) with Zeolite and Nickel Chloride,” 2020.
- [17] C. Li, F. Ataei, F. Atashi, X. Hu, and M. Gholizadeh, “Catalytic pyrolysis of polyethylene terephthalate over zeolite catalyst: Characteristics of coke and the products,” *International Journal of Energy Research*, vol. 45, no. 13, pp. 19028–19042, 2021, doi: 10.1002/er.7078.
- [18] J. M. Heikkinen, J. C. Hordijk, W. De Jong, and H. Spliethoff, “Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 71, no. 2, pp. 883–900, Jun. 2004, doi: 10.1016/J.JAAP.2003.12.001.

