



Obtención de combustible líquido a partir de residuos plásticos

Obtaining liquid fuel from plastic wastes

 Salazar, Demetrio¹; Paucarchuco, Ricardo; Cochachi, Antonio¹

¹Facultad de Ingeniería Química,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Ciudad Universitaria, Huancayo, Perú

Cómo referenciar:

Salazar, D.; Paucarchuco, R.; Cochachi, A. (2022). Obtención de combustible líquido a partir de residuos plásticos. *Prospectiva Universitaria*, 19(1), 99-104.

Resumen

Los residuos plásticos provenientes de nuestra forma de vivir, originan un problema ambiental muy grave, debido a las enormes cantidades y la falta de solución al problema de su disposición final. La presente investigación consiste en desarrollar una tecnología industrial en el laboratorio de tecnología química de la facultad de ingeniería química de la U.N.C.P. para la obtención de un combustible líquido a partir de los residuos plásticos en la ciudad de Huancayo, para dicho fin se debe transformar los residuos plásticos en combustibles líquidos teniendo en cuenta la composición de la materia prima y determinar los parámetros físico químicos para esta conversión. Se efectuaron los experimentos modificando la temperatura y el tiempo de reacción en el reactor. Cuando se elevó la temperatura de pirólisis más allá de 400o C, las cadenas carbonadas se descomponen en fracciones donde no se identifica los típicos hidrocarburos que componen los combustibles de origen fósil.

Palabras clave: pirólisis, combustible, plástico, polietileno, hidrocarburos, recuperación energética.

Abstract

The plastic waste coming from our way of living, originates a very serious environmental problem, due to the enormous quantities and the lack of solution to the problem of its final disposal. The present investigation consists of developing an industrial technology in the laboratory of chemical technology of the faculty of chemical engineering of the U.N.C.P. to obtain a liquid fuel from plastic waste in the city of Huancayo. For this purpose, the plastic waste must be transformed into liquid fuels, taking into account the composition of the raw material and determining the physical and chemical parameters for this conversion. The experiments were carried out by modifying the temperature and reaction time in the reactor. When the pyrolysis temperature was raised beyond 400o C, the carbon chains decompose into fractions where the typical hydrocarbons that make up fossil fuels are not identified.

Keywords: pyrolysis, fuel, plastic, polyethylene, hydrocarbons, energy recovery.

1 Introducción

Según el MINAM, en el Perú, en un año, cada ciudadano usa 30 kilos de plásticos. Sumando al año cerca de 3 mil millones de bolsas plásticas, lo que constituye casi 6 mil bolsas por cada minuto, tanto de origen doméstico, industrial y agroindustrial. En los puntos de ventas, donde se utilizan fundas de polietileno de alta densidad, la generación de residuos es permanente. Las fundas de polietileno, son botadas, enterradas y parcialmente reutilizadas por las distintas plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales.

Entonces el gran volumen de desechos plásticos generados necesita encontrar alternativas de solución, pues la usual disposición final en rellenos sanitarios o la simple combustión de este tipo de residuos solo esconden o agravan el problema, por esta razón el llamado reciclaje terciario o reciclaje térmico son motivos de investigaciones permanentes y de allí viene la tecnología de pirólisis como alternativa. Los plásticos que tienen como fuente el polipropileno y el polietileno, al ser tratados mediante pirólisis a bajas temperaturas producen materiales de composición C3 hasta C38 (Pankratz, 2000). Los productos originados por estos tratamientos tienen la ventaja de estar libres de azufre, aparece una composición donde prima la gasolina y ciertas fracciones ligeras de diésel, todo esto los hace muy útiles para producir combustibles.

En tal sentido, se desarrolló una tecnología industrial en el laboratorio de tecnología química de la facultad de ingeniería química de la U.N.C.P. para la obtención de un combustible líquido a partir de los residuos plásticos en la ciudad de Huancayo, para dicho fin se debe transformar los residuos plásticos en combustibles líquidos teniendo en cuenta la composición de la materia prima y determinar los parámetros fisicoquímicos para esta conversión (Zhang et al., 1995). Los plásticos para obtener esas cualidades poseen diversas composiciones que aporta la química de los polímeros, estas características ocasionan dificultades adicionales en el proceso de reciclaje. Los residuos plásticos suelen ser adecuados para la pirólisis, Cuanto más plástico se consumen cada día, más residuos se generan, lo que aumenta la generación de plásticos de deshecho. El recicla-

je es un método para segregar plástico que se puede pirolizar para producir combustible a partir de desechos plásticos (Shukla, 2022).

2 Materiales y Métodos

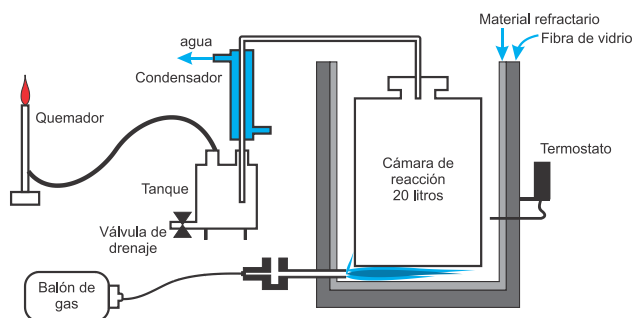
2.1 Materiales

Se utilizó fracciones de residuos plásticos de propileno y polietileno, triturados con el fin de dimensiones cercanas a pellets antes de ingresar a la cámara. Se tamizaron para obtener materiales con un diámetro de 3 hasta 5 mm, manteniendo la limpieza del material para atribuirle el más alto contenido de materia volátil atribuido al plástico. Se analizó las fracciones de propileno y polietileno, para conocer asimismo la posible presencia de azufre, cloro (Jung et al., 2010); posteriormente se destiló el líquido primario obtenido, utilizando la temperatura como para separar los componentes según el punto de ebullición.

Los equipos para la primera etapa fueron:

- Equipo para trituración de material plástico.
- Compresor de palanca manual para amoldar pequeñas piezas (opcional)
- Cámara metálica de pirólisis
- Sistema de enfriamiento: condensador para lograr la condensación del aceite
- Tanque de almacenamiento de líquido aceitoso.
- Equipo destilador para refinación del líquido obtenido
- Quemador antorcha para gases sobrantes.
- Opcional: Bomba para impulsión
- Termocupla con salida digital en la cámara de pirólisis
- Sensor de temperatura en el Condensador

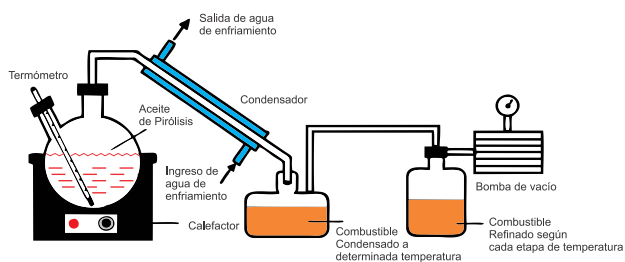
Figura 1
diagrama del experimento en planta semi piloto de pirólisis



El procedimiento consistió primero en deshumidificar el catalizador para eliminar trazas de agua, luego se mezcló los residuos plásticos con el catalizador y por último se acumuló los productos en los condensadores. Para la segunda etapa de separación de componentes, se usaron los siguientes equipos:

- Termostato para control de temperatura
- Termómetro para control.
- Matraz de ebullición.
- Condensador para enfriamiento.
- Tanques de recepción.
- Bomba de vacío.

Figura 2
Diagrama de Separación de Fases Líquidas



2.2 Población y muestra

Se utilizó plástico proveniente de los hogares de los estudiantes de ingeniería química que participaron voluntariamente en el aporte del plástico reciclado. Se seleccionó una muestra representativa de 5Kg. Las que se utilizarán en los 9 experi-

mentos de pirólisis. Utilizando 0.5 kg de plásticos y 0.125 kg de catalizador comercial Bentonita

2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental con dos factores y tres niveles con nueve combinaciones de tratamiento. Se mantuvo constante la presencia del catalizador Bentonita en la proporción recomendada de 1:4.

Tabla 1
Diseño del Experimento

A			
Variables	Bajo –	Medio	Alto +
Temperatura	300°C	400°C	500°C
Tiempo	0.5 hr	1 hr	2 hr
B			
Tratamiento	A(T)	B(Tiempo)	
1	Bajo	Bajo	
2	Medio	Bajo	
3	Alto	Bajo	
4	Bajo	Medio	
5	Medio	Medio	
6	Alto	Medio	
7	Bajo	Alto	
8	Medio	Alto	
9	Alto	Alto	

Nota. Panel A: nivel de las variables. Panel B: Diseño del experimento factorial 3^2

3 Resultados

3.1 Mecanismo de reacción del polímero

Al ser los plásticos un material polimérico de cadena larga, se trata de aceite solidificado, con un alto poder calorífico. El tratamiento requerido necesita gasificación, pirólisis térmico, pirólisis catalítico, hidrólisis, etc. De estas operaciones al conocer previamente que la pirólisis térmica y catalítica tienen mejor rendimiento se seleccionaron para realizar la experimentación (Rejas et al., 2015).

Para lograrlo se utilizan muchos catalizadores con el fin de convertir plástico en aceite, y estos son alúmina-sílice, a base de zeolita ZSM-5, carbón activado, carbón vegetal granulado y óxido de calcio; Fe_2O_3 , Pd / Al_2O_3 . Siendo las arcillas aluminosilicatos de origen natural con estructu-

ra laminar, las arcillas actúan como catalizadores y soportes de catalizadores, para generar reacciones de alquilación, dimerización (Senthil et al., 2017). La roca donde predominan estos minerales útiles es la bentonita, la que resulta ser una arcilla alterada a partir de material ígneo proveniente de toba o ceniza volcánica. Se suman propiedades como intercambio catiónico, capacidad de hinchamiento, plasticidad, adsorción y actividad catalítica (Savgorodny, 1978).

Los residuos plásticos se pueden convertir en hidrocarburos combustibles con el uso de esta arcilla (bentonita) como catalizador. La conversión tiene lugar en la técnica de reacción en fase líquida con un rendimiento del 60-70% (en peso). Los parámetros óptimos en la bibliografía para el proceso son una relación de alimentación de catalizador de 1:4 materiales para craqueo (Crocker, 2010); el combustible líquido está compuesto por hidrocarburos líquidos.

Esto se resume en la conversión de los plásticos en combustible líquido mediante su pirólisis y posteriormente condensando el hidrocarburo resultante (Ravishankar & Raj, 2017).

Ese aceite resultante de la descomposición de los plásticos de desecho, luego se debe destilar continuamente. Es factible entonces obtener hidrocarburos con altos puntos de ebullición como el diésel, el queroseno, y la gasolina, los que se deben condensar con agua en un condensador (ver figura 2). Los residuos plásticos son convertidos a formas de hidrocarburos utilizando arcilla bentonita como catalizador. La conversión se lleva a cabo en una reacción de fase líquida, donde se maneja un 65 a 70% en peso de materiales. Los parámetros óptimos para el proceso son una relación de alimentación de catalizador de 1:5, la temperatura en el rango de 420-450°C y el tiempo total para el proceso completo es de 3 horas (2017).

3.2 Resultados Físico-Químico

Tabla 2

Análisis Promedio de Plásticos en los Residuos Sólidos municipales, Materia Prima

Caracterización %	PET	PP	PS
Humedad	0.51	0.17	0.27
Carbono fijo	10.11	0.17-2.31	0.16
Material Volátil	97.73	97.85	99.64
Cenizas	0.02	1.98	0.00
Análisis C	62.94	85.05	89.91
Análisis H	4.11	14.65	7.95
Análisis O	32.92	0.21	0.95
Análisis N	0.00	0.00	2.70

Nota. Tomado de Amar Gil et al. (2020)

3.3 Propiedades físicas de los líquidos provenientes de pirólisis de plásticos

Tabla 3

Tipos de Plásticos

Propiedades Físicas	PET	PVC	PP	PS
Valor Calorífico (MJ/kg)	28.1	21.2	40.7	42.9
Viscosidad (mm ² /s)	n.a.	6.35	4.10	1.41
Densidad 15°C (g/cm ³)	0.91	0.85	0.87	0.86
Octanos MON (min)	n.a.	n.a.	87.5	n.a.
Punto de fluidez (°C)	n.a.	n.a.	-9	-67
Punto flash – destello(°C)	n.a.	40	30	26.1
Punto Anilina(°C)	n.a.	n.a.	40	n.a.
Índice Diesel	n.a.	n.a.	34.35	n.a.

Nota. Valores usuales experimentales. Tomado de Anuar Sharuddin et al. (2016)

3.4 Caracterización física del producto líquido obtenido

En la siguiente tabla mostramos las propiedades físicas evaluadas una vez obtenido el líquido de la destilación final, el cual se denota en las columnas (Exp = experimental), comparándolas con los valores obtenidos de la literatura.

Tabla 4

Propiedades del combustible líquido obtenido de los residuos plásticos

Propiedad	Materia Prima utilizada								Gasolina
	Propileno		Bolsas PET		Plásticos PET		PS		
	L	Exp	L	Exp	L	Exp	L	Exp	
Octanaje	92	93	-	111	90	93	98	107	81-100
Índice Anilina	92.7	91	-	113	90.3	92	-	107	81
Densidad	0.86	0.96	0.85	0.93	0.89	0.81	0.85	0.87	0.76

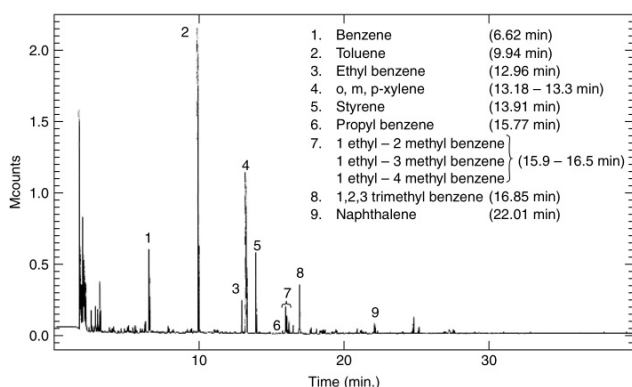
Nota. L: información de literatura, Exp: dato experimental, PE: Polietileno

3.5 Resultados del Cracking Catalítico

Se ha observado en la literatura que los catalizadores basados en algunos metales (aluminio, zinc, hierro) y óxidos metálicos de gran radio iónico (óxido férrico y óxido de titanio) reducen la temperatura de inicio de la hidroclicación atrayendo el cloro (Castells, 2012).

Figura 3

Análisis GC de los productos obtenidos en el craqueo catalítico LDPE sobre zeolita HZSM-5



Nota. Tomado de Scheirs y Kaminsky (2006)

Sin embargo, junto con las ventajas reportadas de los procesos catalíticos, también existen

algunos inconvenientes importantes, que se derivan principalmente de la composición heterogénea de las mezclas de desechos plásticos (Jung et al., 2010). Por tanto, cabe señalar que la mayoría de los estudios sobre fisuración plástica se han realizado utilizando plásticos vírgenes como materia prima. La situación es completamente diferente cuando se van a degradar los desechos poliméricos reales. Por otro lado, la presencia mencionada anteriormente de cloro de cloruro de polivinilo (PVC) puede causar problemas de corrosión, así como la formación de compuestos tóxicos que contienen cloro (O'Connor et al., 1992).

4 Conclusiones

- Previa selección, es posible convertir los plásticos provenientes del reciclaje, en combustibles líquidos, con presencia de compuestos C10-C16 obteniendo mejores resultados a la temperatura de 400°C y 3 horas de tratamiento. Se obtuvo gasolina de densidad 0.75 g/cm³ y queroseno.
- Las mejores evidencias fueron las obtenidas cerca de 400°C. El uso de catalizador, verifica el efecto positivo pues se logra reducir la temperatura máxima de craqueo (sin catalizador se utiliza más de 600°C) y esto se explica por el conocido efecto de disminuir la energía de activación.
- Para posteriores estudios sobre este tema, se debe enfocar las variables de pirolizado respecto a otras formas plásticas, para ofrecer una solución tecnológica amplia respecto a los diferentes materiales plásticos que suelen aparecer en el reciclado.

Referencias

- Crocker, M. (2010, septiembre). *Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals*. Royal Society of Chemistry.
- Jung, S.-H., Cho, M.-H., Kang, B.-S., & Kim, J.-S. (2010). Pyrolysis of a fraction of waste polypropylene and polyethylene for the recovery of BTX aromatics using a fluidized bed reactor. *Fuel Processing Technology*, 91(3), 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.10.009>
- O'Connor, C., Forrester, R., & Scurrill, M. (1992). Cetane number determination of synthetic diesel fuels. *Fuel*, 71(11), 1323-1327. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(92\)90061-R](https://doi.org/10.1016/0016-2361(92)90061-R)

- Pankratz, T. M. (2000, septiembre). *Environmental Engineering Dictionary and Directory*. CRC Press.
- Ravishankar, R. F., & Raj, M. A. (2017). Conversion of Waste Plastics to Fuel - Liquid Phase Recycle Technique. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2(9), 20-24. Consultado el 13 de diciembre de 2023, desde <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2017/09/Conversion-of-Waste-Plastics-to-Fuel-Liquid-Phase-Contacting-Recycle-Technique-1.pdf>
- Rejas, L., Carreón, B., Ortiz, M., Llanes, L., & Copa, M. (2015). Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 10(11), 635-642. Consultado el 13 de diciembre de 2023, desde http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2225-87872015000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Savgorodny, V. K. (1978, octubre). *Transformación de plásticos*.
- Senthil, P., Bharathikumar, M., Prabhakaran, C., Vijayan, S., & Ramakrishnan, K. (2017). Conversion of waste plastics into low-emissive hydrocarbon fuels through catalytic depolymerization in a new laboratory scale batch reactor. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 8(2), 167-173. <https://doi.org/10.1007/s40095-015-0167-z>
- Shukla, S. K. (2022). Processing of Waste Plastics and Its Use as Fuel. En *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers* (pp. 599-602). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00057-2>
- Zhang, Z., Hirose, T., Nishio, S., Morioka, Y., Azuma, N., Ueno, A., Ohkita, H., & Okada, M. (1995). Chemical Recycling of Waste Polystyrene into Styrene over Solid Acids and Bases. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 34(12), 4514-4519. <https://doi.org/10.1021/ie00039a044>