

Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos

Liquid Fuels from Wasted Plastics

REJAS - Luis ^{*}†, CARREÓN - Bicmar [´], ORTIZ - Maribel [´], LLANES – Lilian [´], COPA – Milena [´]

Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología, Carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Petróleo y Gas Natural, Calle Regimiento Campos Nro. 180, teléfono 591-4-53488, Sucre – Bolivia

Recibido Abril 15, 2015; Aceptado: octubre 08, 2015

Resumen

La investigación se concentró en el estudio del proceso de pirólisis del plástico consistente en la descomposición térmica. Este proceso permite la obtención de una mezcla de hidrocarburos denominada petróleo ligero, que luego puede ser utilizado como fuente de energía. En la investigación se trabajó con residuos plásticos clasificados en seis categorías: polietilentereftalato (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de Vinilo (PVC).

Se realizaron pruebas experimentales por separado con cada una de las categorías, excepto con el PVC, en un reactor Batch, en el que se midió temperaturas de operación, tiempo total de reacción, volumen de hidrocarburos líquidos obtenidos, densidad del producto, masa de residuos y se calculó el rendimiento. El medioambiente se beneficia, los desechos plásticos se convierten en energía.

Palabras Clave

Pirólisis de plásticos, Combustible de plásticos, Aprovechamiento de plásticos.

Abstract

This research was focused on the study of plastic pyrolysis process, which consists of thermal decomposition of these materials, and allows to obtain a hydrocarbon blend, called light petroleum. It can be used as an energy source.

The work was made with plastic waste, which were classified into six categories: Polyethylene Terephthalate (PET), High Density Polyethylene (HDPE), Low Density Polyethylene (LDPE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), and Polyvinyl Chloride (PVC). Each category was treated separately in a batch reactor, except PVC. Each experiment measured operating temperatures, total reaction time, volume of liquid hydrocarbons obtained, product density, residual mass, and finally the performance of the liquid hydrocarbons was calculated. Wasted plastics transformed into energy help environment enormously

Keywords

Plastic Pyrolysis, Fuel from Wasted Plastics, Renewable Energy, Environment.

Citación: Rejas L., Carreon V., Ortiz M., Llanes L. & Copa M. Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación 2015, 10-11: 635-642.

*Corresponde al Autor (Correo electrónico: luimisa24@gmail.com)

†Investigador primer autor.

Introducción

Actualmente casi la totalidad de los productos que se consumen vienen empaquetados, 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, debido a que su proceso de degradación es muy lento y toma muchos años.

En el mundo se generan millones de toneladas de residuos plásticos, por lo que se hace necesario plantear nuevas alternativas para su tratamiento y disminuir el impacto que causan contaminando el medio ambiente, y degradando una gran cantidad de ecosistemas en la naturaleza.

La investigación se justifica desde el punto de vista ambiental y económico ya que el proceso de pirolisis 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 que actualmente el País importa, por lo que representaría un ahorro. Además, el uso de residuos plásticos para generar combustibles, es una forma de beneficiarse económicamente, en lugar de contaminar y producir daños irreparables a la naturaleza y al ecosistema.

En el orden social, porque será el punto de partida para considerar la implementación de una planta de este tipo en Chuquisaca, y como no en otras ciudades de Bolivia, mejorando la calidad ambiental y generando fuentes de trabajo, y así contribuir al desarrollo de la región y del país y por tanto a mejorar la calidad de vida de la población.

En lo académico, porque la investigación, que es uno de los pilares fundamentales de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, coadyuvará a mantener y mejorar su bien ganado prestigio.

Pero fundamentalmente, desde un punto de vista técnico - científico contribuirá al desarrollo del conocimiento, ya que, el propósito inmediato es la generación de datos a las condiciones locales de presión, humedad y temperatura, información que se podrá utilizar para futuras investigaciones.

Como antecedentes en relación al reciclado de plásticos para generar combustibles, los primeros estudios los encaró el empresario japonés Akinori Ito el año 2011, quien busco un proceso para producir diésel a partir de los residuos plásticos y patento un equipo, denominado "Blest Machine", que permite procesar polietileno, poliestireno y polipropileno, pero no botellas PET, logrando convertir un kilogramo de plástico en un kilogramo de combustible con solo un kilovatio de energía. [UPSOCL (2015)]

La empresa Cynar PLC Green fuel, que se encarga de regenerar aceites industriales usados está investigando esta tecnología en Europa, con el fin de implementar plantas para convertir los residuos plásticos en combustibles líquidos. [La razón.es (2012)]

Se puede decir que la generación de combustibles líquidos por pirolisis a partir de los residuos plásticos es una forma innovadora y limpia de abastecer de combustibles y lidiar con el problema de la contaminación y tiene la ventaja de que no es necesario clasificar los residuos para proceder a su tratamiento.

El proceso de pirolisis consiste en la descomposición química de un material por degradación térmica en ausencia de oxígeno.

En relación a los residuos plásticos, el proceso es el mismo sin importar el tipo de polímero o mezcla de plásticos que se tenga, y consiste en someter la mezcla, a tratamiento térmico, en un autoclave a temperaturas entre 370°C y 420°C, los gases generados (gases pirolíticos), se recuperan y condensan obteniendo así un destilado de hidrocarburos, un petróleo con bajo contenido en azufre, que puede ser refinado mediante destilación fraccionada para obtener diésel, gasolina y querosén. Según Cynar PLC Green fuel (2011) la proporción que se puede obtener, de estos productos, depende de la mezcla de plásticos introducida.

Este método de reciclado es nuevo, por lo que aún no se conoce mucho del proceso y prácticamente no existen datos disponibles, lo poco que se sabe se mantiene como secreto industrial, por lo cual se necesita investigar y obtener datos propios de pruebas que permitan desarrollar esta tecnología y beneficiarse como Universidad, región y país.

La situación problemática queda manifiesta al observar que la generación mundial de residuos plásticos es extraordinariamente elevada y tiene tendencia a incrementar debido al uso intensivo y creciente de plásticos, que sumado a su lenta degradación (100 a 500 años) provoca que estos desechos se acumulen en los vertederos y basureros municipales, desprendiendo gases tóxicos a la atmósfera que generan una gran contaminación y degradación de la atmósfera, el suelo, los cuerpos de agua, el paisaje, y los ecosistemas en general [Angulo, 2013].

El problema se puede formular a partir del hecho de que el consumo intensivo y creciente de materiales plásticos, que luego son desechados, sumado a los largos periodos que requieren para su degradación, se constituye en la primera causa de contaminación ambiental.

Consecuentemente ¿Cuál será el proceso más adecuado y sus condiciones de operación para reciclar y transformar los residuos plásticos en nuevos productos?

Para responder a la interrogante se planteó el siguiente objetivo general: Realizar un Estudio Experimental del Proceso de Producción de Combustibles Líquidos a Partir de Residuos Plásticos para que de una manera práctica se contribuya en la solución de problemas causados por este residuo, este objetivo se alcanzará a partir del desarrollo de objetivos específicos como:

- Determinar la proporción de los diversos tipos de plásticos que se encuentran en los residuos urbanos de la ciudad de Sucre, que servirán de materia prima.
- Caracterizar el proceso de pirolisis de los residuos plásticos determinando su rendimiento en la obtención de una mezcla de hidrocarburos.
- Especificar la mezcla de hidrocarburos resultante del proceso de pirolisis de los residuos plásticos.
- Asimismo se ha establecido una idea a defender que bien posteriormente podrá constituirse en una hipótesis, formulada de la siguiente manera: La pirolisis de residuos plásticos permite obtener combustibles líquidos que cumplen los estándares establecidos en las normas del Decreto Supremo 1499, Fiscalizado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos de Bolivia.

1. Diseño metodológico

La Investigación realizada es de tipo experimental, pues se efectuaron cambios deliberados en las variables de operación del proceso de pirolisis de residuos plásticos, a fin de determinar las condiciones más adecuadas para el proceso.

Por sus características es una investigación de laboratorio donde se pudo tener un mejor control del proceso estudiado.

Por su finalidad es una investigación aplicada, ya que tiene como objetivo coadyuvar con una solución práctica al problema de la contaminación por residuos plásticos.

Para la investigación se utilizaron los siguientes métodos teóricos:

- El Análisis Documental para determinar el estado del arte en relación al proceso de pirólisis de residuos plásticos, además de recuperar inequívocamente la información en relación los métodos de medición de las variables de este proceso.

- El método Sistémico Estructural – Funcional para modelar el proceso estudiado y determinar las mejores condiciones para efectuar un estudio experimental, así como para procesar los datos recogidos en dicho estudio.

- El método Causal que permitió establecer, junto al método Sistémico Estructural – Funcional, las condiciones para desarrollar el estudio experimental.

Además de los anteriores se utilizaron los siguientes métodos empíricos:

- La Experimentación, método central de la investigación, pues permitió estudiar la pirólisis de residuos plásticos, bajo condiciones controladas, para determinar las condiciones de proceso más adecuadas.

- La Medición, que permitió cuantificar las variables del proceso y luego de un análisis de dichos valores arribar a conclusiones.

2. Resultados y discusión.

El primer paso de la investigación fue diseñar el equipo experimental, el mismo que consta de un recipiente cerrado (reactor), el mismo que requiere estar herméticamente sellado, por dos motivos fundamentales:

- La reacción de la pirólisis se debe llevar a cabo a elevadas temperaturas y en completa ausencia de oxígeno, pues su presencia desviaría el curso de la reacción hacia una combustión, por lo que los resultados esperados no serían logrados.

- Podrían ocurrir fugas de gas con presencia de combustibles, lo que ocasionaría incendios y explosiones.

- En la siguiente figura se puede ver un esquema del equipo diseñado.

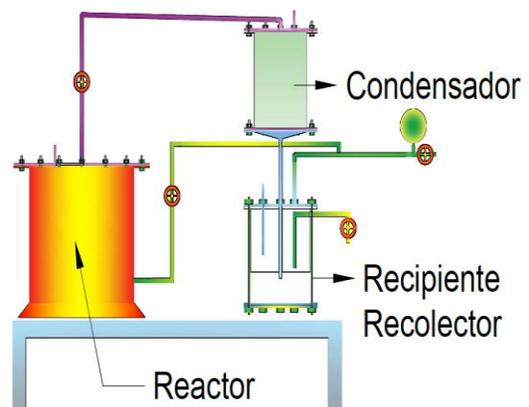


Figura 1. Esquema del equipo utilizado para la Pirólisis de Plásticos

Diseñado el equipo, se procedió a su construcción, que luego se sometió a una prueba hidráulica, para garantizar que todas sus conexiones estén completamente herméticas.

Durante el diseño y construcción del equipo se procedió al acopio de la materia prima para las pruebas, aprovechando dicha tarea para caracterizar los residuos sólidos generados por los habitantes de la ciudad de Sucre. Para lo cual, se determinó el tamaño de la muestra, según:

$$n = \frac{k^2 * p * (1 - p) * N}{e^2(N - 1) + k^2 * p * (1 - p)}$$

Dónde:

- p** Se asume igual a **0,5** que es la proporción más desfavorable.
- e** Es el error máximo que se comete al utilizar la muestra, el mismo que se ha establecido en **5 %**.
- k** Es un factor que depende el nivel de confianza del estudio, que para un grado de confianza del **95 %** es igual a **1,96**.
- N** Es el tamaño de la población. De acuerdo a los datos del Censo de población y vivienda del año 2012 [INE, 202], la población de la ciudad de Sucre es **259.388** habitantes, equivalente a **51.878** viviendas, para un promedio de **5** miembros por familia.

Luego el tamaño de una muestra representativa para el estudio es:

$$n = 131$$

Se eligieron ciento treinta y un viviendas al azar, de diez barrios de la ciudad de Sucre, elegidos por la cercanía a las viviendas de los miembros del equipo de investigación, resultando en una distribución aleatoria de los mismos con características diversas, por lo que la muestra se considera representativa.

Se recogió la basura de las viviendas seleccionadas, dos veces por semana durante dos meses.

Cada vez, se pesó el total de basura recolectado, se clasificó la misma en cinco clases de residuos, pesando la cantidad de cada uno de ellos. Finalmente, los residuos plásticos, fueron reclasificados en siete categorías y se procedió a pesar la cantidad de cada categoría.

En base a los datos, así obtenidos, se determinó el porcentaje de cada clase de residuos y categoría de plásticos, para cada medición realizada, finalmente se sacó el promedio de los porcentajes, resultados que se muestran en las siguientes tablas.

Clase de Residuo	Porcentaje (%)
Residuos orgánicos	51
Plásticos	8
Papel y cartón	5
Vidrios y metales	4
Otros	32
TOTAL	100

Tabla 1. Caracterización de los Residuos Sólidos de Sucre

Categoría de Plásticos	Porcentaje (%)
1: PET (Polietileno Tereftalato)	22
2: PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	13
3: PVC (Policloruro de Vinilo)	8
4: PEBD (Polietileno de Baja Densidad)	12
5: PP (Polipropileno)	16
6: PS (Poliestireno)	12
7: Otros	17
TOTAL	100

Tabla 2. Tipos de Plásticos y Porcentajes Presentes en los Residuos Sólidos de la Ciudad de Sucre.

Posteriormente, se procedió al acopio de residuos plásticos, los cuáles fueron seleccionados en función al tipo de plástico (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, Otros) y se realizaron pruebas experimentales con cada categoría de plásticos por separado, excepto la categoría 3 (PVC), debido a su alto contenido de cloro, el cual se podría desprender en el proceso de la reacción resultando toxico y peligroso, ni con la categoría 7 (Otros), debido a que en esta categoría se tienen productos de reciclado de plásticos de diversos orígenes, es decir una mezcla indeterminada de plásticos, y las pruebas con mezclas de residuos plásticos estaban planificadas para una segunda fase.

Inicialmente se experimentó con cargas de 1.500 g, 1.000 g y 500 g, con resultados insatisfactorios, pues al parecer no se lograba la descomposición de los plásticos y se formaba un producto semi-sólido, de consistencia pastosa, motivo por el cual se decidió reducir la carga, pues se pensó que la temperatura alcanzada no era suficiente para lograr el rompimiento de cadenas largas.

Por lo indicado se utilizaron cargas de 250 gr por prueba, excepto para la prueba con PP donde se utilizó una carga de 300 g, decisión correcta porque se obtuvieron buenos resultados, logrando producir una mezcla de hidrocarburos líquidos (petróleo ligero). Los combustibles gaseosos fueron utilizados para calentar el sistema. En todas las pruebas se trabajó a temperaturas menores a 300°C.

Los resultados obtenidos se exponen en las tablas siguientes, donde muestra la cantidad de petróleo ligero obtenido, el rendimiento porcentual en relación a la masa inicial cargada al reactor, la variación de temperatura dentro de reactor a lo largo de la reacción, y una caracterización de los productos obtenidos, donde se detallan las observaciones realizadas en relación a los productos de reacción.

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	18	37	14,8	No se obtuvo líquidos.
35	103			
55	130			El producto obtenido tiene consistencia grasa, de color plata, capaz disolver cucharas plásticas, se funde 55°C, y se quema con llama constante
99	142			
129	153			
160	173			En el reactor quedó un residuo sólido, que pesó 185 g, de aspecto similar al del carbón vegetal.
190	211			
220	235			
250	240			El resto son gases. Se observó que fue la prueba con mayor producción de gases.
280	230			

Tabla 3. Datos Experimentales de la Pirólisis de PET

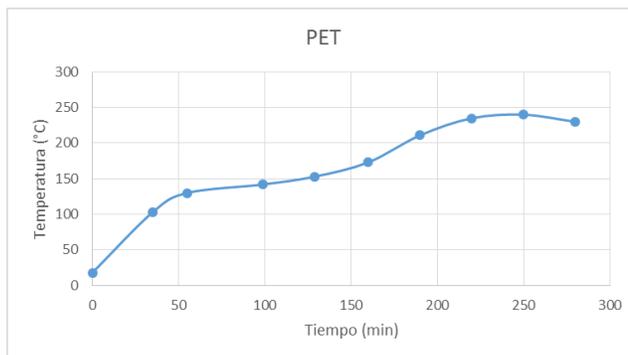


Gráfico 1. Variación de la Temperatura en la Pirolisis de PET

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	22	57	20,5	Se obtuvo un volumen de 57 ml de líquido, que se quema rápidamente en presencia de oxígeno y fuego, tiene un color marrón, y luego de reposar adopta un color verde claro en la parte superior del líquido. Los residuos en el reactor pesaron 160 g, tienen consistencia grasa, son de color amarillento y se funden a aproximadamente 65°C. El resto son hidrocarburos gaseosos, que se quemaron para calentar el sistema. El color de la llama del gas es naranja.
10	51			
20	80			
30	102			
40	116			
50	131			
60	147			
70	178			
80	198			
90	205			
100	209			
110	214			
120	217			
130	218			
150	217			

Tabla 4. Datos Experimentales de la Pirolisis de PEAD

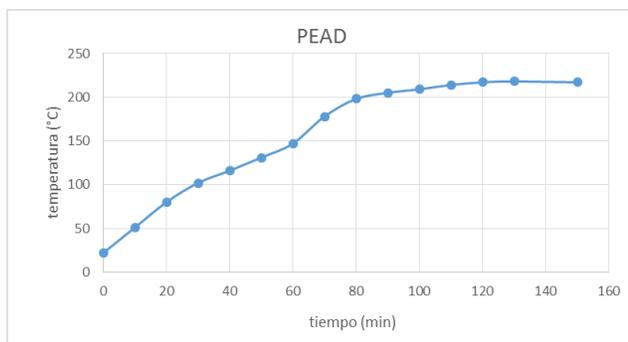


Gráfico 2. Variación de la Temperatura en la Pirolisis de PEAD.

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	18	61	19,5	Se obtuvo un volumen de 61 ml de líquido, que se quema fácil y completamente desprendiendo hollín, y tiene color marrón. La cantidad de residuos en el reactor fue de 153 g, que tiene el olor a ceniza con una consistencia similar a la de la plastilina, de color plomo que al exponerlo al ambiente pareciera formar óxidos de color naranja. El resto son hidrocarburos gaseosos, que se quemaron para calentar el sistema. El color de la llama del gas es rojizo.
20	95			
40	140			
50	168			
60	186			
70	191			
80	198			
90	199			
100	201			
110	205			
120	208			
130	209			
135	211			
140	213			
150	216			
160	214			
170	208			

Tabla 5. Datos Experimentales de la Pirolisis de PEBD

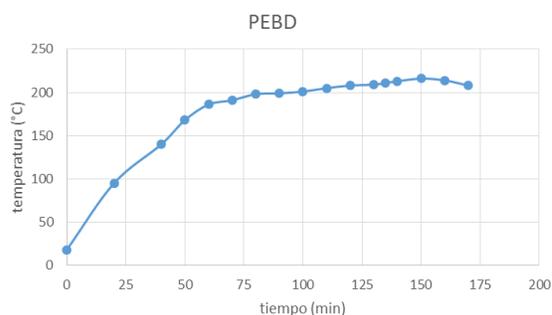


Gráfico 3. Variación de la Temperatura en la Pirolisis de PEBD

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	18	185	70,3	Se pudo obtener un buen rendimiento, el líquido obtenido es de color amarillo claro, la llama es constante al momento de arder, es el componente que tarda menos en reaccionar, además a temperaturas más bajas. El color de la llama de gas es amarillo y no quedaron residuos en el reactor.
10	82			
20	112			
35	152			
50	166			
70	172			
80	170			
95	165			
105	155			

Tabla 6. Datos Experimentales de la Pirolisis de PS.

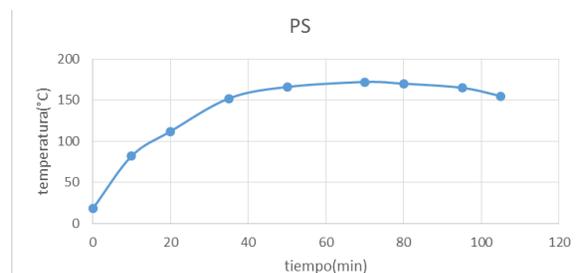


Gráfico 4. Variación de la Temperatura en la Pirolisis de PS

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	20	265	70,7	Se obtuvo el mejor rendimiento, el color del líquido es mostaza claro, arde de manera constante sin desprender mucho hollín. Se genera gas en la reacción, el cual se quemó para calentar el sistema. El color de la llama de gas es amarillento y no quedaron residuos en el reactor.
10	60			
20	80			
30	93			
40	106			
50	128			
60	150			
65	168			
70	178			
80	192			
90	205			
100	210			
110	217			
120	218			
130	220			
140	224			
150	218			
160	211			

Tabla 7. Datos Experimentales de la Pirolisis de PP

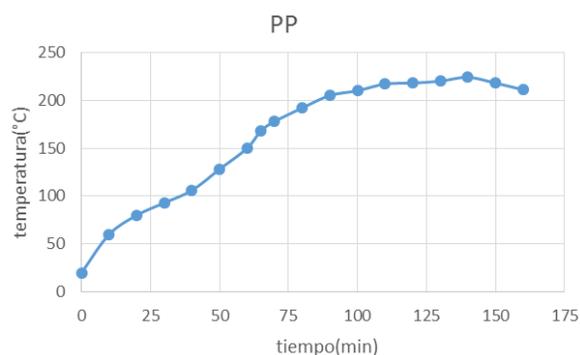


Gráfico 5. Variación de la Temperatura en la Pirolisis de PP

Categoría de Plásticos	Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad (gr/cm³)	Color	Rend. (%)
1: PET (Polietileno Tereftalato)			No se obtuvo líquidos	Plata	14,8
2: PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	9,0	10	0,9	Marrón	20,5
3: PVC (Policloruro de Vinilo)			No se realizó pruebas		
4: PEBD (Polietileno de Baja Densidad)	8,0	10	0,8	Marrón	19,5
5: PP (Polipropileno)	8,0	10	0,8	Mostaza	70,7
6: PS (Poliestireno)	9,5	10	0,95	Amarillo	70,3
7: Otros			No se realizó pruebas		

Tabla 8. Rendimiento y Densidad de los Líquidos Obtenidos

En todas las pruebas, excepto la realizada con PET cuyo comportamiento varía con relación a los demás plásticos, se observa que la temperatura inicialmente aumenta hasta que entre los 35 min y 55 min, dependiendo de la categoría de plástico utilizada, se observa un punto de inflexión, esto ocurre cuando la temperatura ha llegado aproximadamente a 160 °C, momento en el que se observaron las primeras gotas de petróleo ligero producidas, sin embargo la temperatura sigue subiendo hasta que al pasar los 200 °C se observa una producción masiva de petróleo ligero, lo que ocurre luego de transcurridos entre 60 min y 120 min dependiendo de la categoría de plásticos utilizada, momento a partir del cual, la temperatura tiende a mantenerse más o menos constante con una ligera tendencia a aumentar. Cada prueba duró entre 120 min y 180 min.

La prueba con PS duró menos y se alcanzaron estas temperaturas en menor tiempo, mientras que la Prueba con PET tuvo una duración de alrededor de 280 min.

3. Conclusiones.

Al concluir la investigación se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Procesar residuos plásticos para generar combustibles, es una forma de limpiar el medio ambiente, pues se usan desechos plásticos como materia prima y permite disponer de combustibles líquidos mediante un proceso limpio.
- El rendimiento en la producción de hidrocarburos, al utilizar polipropileno y poliestireno, está alrededor del 70 %, mientras que para polietileno de alta o baja densidad está alrededor del 20 %.

- Con polietileno tereftalato, no se pudo obtener combustibles líquidos, sin embargo se obtiene un producto semi-sólido de consistencia pastosa, similar a una grasa, en un porcentaje del **14,8 %** y cuya composición no se pudo determinar, pero se presume que es un hidrocarburo pesado pues es combustible y es capaz de disolver plásticos.

Bibliografía.

- Residuos Plásticos. Argentina: Boletín Técnico Informativo N° 32. Pp. 14-17.
- Oswaldo Proaño y Sara Crespo. (2009). Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos. Pp. 16-19.
- Bevilacqua Romina. El revolucionario invento que convierte el plástico en petróleo. UPSOCL.verde. www.UPSOCL.com/verde/el-revolucionario-invento-que-combierte-el-plastico-en-petroleo/. Visitado: 22-03-2015.
- Tobalina, Belén. DIÉSEL A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS. LA RAZON.es. www.larazon.es/3613-diesel-a-partir-de-residuos-plasticos-GLLA_RAZON_347385#.Ttt1hpnNqdX7nEw. Visitado: 30-03-2015.
- Residuos de plástico transformados en diesel. ECOGAIA.com. www.ecogaia.com/residuos-de-plastico-transformados-en-diesel.html. Fecha de publicación: 28-06-2011. fecha de visita: 30-03-2015.
- Angulo, L. Contaminación por bolsas de plástico. Ed. La Jornada Ecológica. <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/27/eco-m.html>. Fecha de Publicación: 27-05-2013. Visitado: 31-02-2015.