

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALIMENTADO CON COMBUSTIBLE OBTENIDO DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Daniel Felipe Verano Castillo (1), José Manuel Riesco Ávila (2)

1 Ingeniería Mecánica, Universidad industrial de Santander | Dirección de correo electrónico: da.verano@hotmail.com

2 Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: riesco@ugto.mx

## Resumen

Este informe de investigación tiene como fin determinar las principales prestaciones del motor con la utilización de combustible obtenido a partir de residuos plásticos. La transformación del polímero en combustible se lleva a cabo por medio de un proceso físico-químico denominado pirólisis, que consiste en la degradación térmica de un plástico en ausencia de oxígeno o que se lleva a cabo con una cantidad reducida del mismo [1]. Se tiene como resultado final de esta técnica un diésel (no biodiésel) reciclado de una calidad similar al normal sin necesidad de refinados para su uso comercial. El producto obtenido una vez mezclado con diésel regular en diferentes proporciones fue caracterizado con el fin de realizar ensayos en un banco de pruebas para su posterior estudio. En cuanto los datos obtenidos de par, potencia y consumo específico fueron analizados, se pudo concluir que era factible tanto energética como económicamente el uso de este diésel de pirólisis como aditivo de diésel regular para uso cotidiano de un motor.

## Abstract

This research report aims to identify the main benefits of the use of motor fuel from plastic waste. The transformation of the polymer fuel is performed through a physical-chemical process called pyrolysis, which involves the thermal degradation of a plastic or absence of oxygen is carried out with a reduced amount of it [1]. It is the result of this technique a diesel (not biodiesel) recycling of a similar quality to normal without refined for commercial use. The product obtained when mixed with regular diesel in different proportions were characterized in order to perform tests on a testbed for further study. As the data of torque, power and specific consumption were analyzed, it was concluded that it was economically feasible both energy and the use of this additive diesel pyrolysis as regular diesel for everyday use of a motor.

## Palabras Clave

Reciclaje de Plásticos; Pirólisis; Motor Diesel.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los grandes cúmulos de desechos plásticos alrededor del mundo representan un problema ambiental grave, debido al desequilibrio que están provocando en dos de los diversos ecosistemas (marítimo y terrestre). El mayor problema, y del cual se derivan muchos, es el uso indiscriminado de un material lentamente degradable para la elaboración de objetos en su mayoría desechables, esto debido a su amplio rango de prestaciones y al bajo costo que representa. Los tres problemas críticos de entrada son: en primer lugar el efecto nocivo para los hábitats naturales, que se ven perturbados con desechos plásticos que desvían el curso normal de la naturaleza y en el peor de los casos provocan alteraciones reproductivas y deformaciones físicas que pueden causar la muerte; en paralelo, el hombre también puede presentar un desorden hormonal ya que según un informe presentado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [2], los PE (Perturbadores Endocrinos) presentes en los recipientes plásticos se desprenden y mezclan con las sustancias que depositan, las cuales posteriormente entraran en contacto con el humano y pueden llegar a alterar en gran medida el funcionamiento normal del sistema endocrino. El segundo de estos problemas es que una vez utilizado el polímero sin importar cual haya sido su fin, este se convierte en un RSU (Residuo Sólido Urbano) lo que genera altas concentraciones de desechos plásticos que están saturando calles, basureros, playas, lechos marinos y áreas naturales ya que se calcula que 25 millones de toneladas de plásticos se acumulan en el ambiente cada año y pueden permanecer inalterables por un periodo de entre 100 y 500 años [3]. El tercer inconveniente y no menos importante es el tratamiento de los desechos plásticos. Actualmente la mayoría de países de centro y sur américa no cuentan con toda la infraestructura necesaria para el reciclaje óptimo de este tipo de materiales, pero aun así, en Ecuador, Costa Rica y Argentina se han logrado avances tecnológicos para la recuperación de estos residuos sólidos. A pesar de que en América Latina se incentiva al reciclaje por medio de diversas campañas ecológicas, según el comunicador social Carlos Fermín ningún país

supera el 15% de material reciclado por la basura que producen al año [4]. Es este último problema en el que nosotros como ingenieros podemos ayudar para revertir en la mayor medida posible el gran daño ambiental que hoy sufrimos causado en parte por los deficientes métodos de reciclaje.

Los carburantes derivados de basuras plásticas son altamente puros, ya que su materia prima “el petróleo” pasó por un proceso de refinación en el que se eliminaron impurezas, metales pesados y en gran proporción componentes químicos como Azufre, Bromo, Cloro, Flúor, Fósforo y Nitrógeno; por lo cual se asume que la contaminación generada por estos combustibles al ser utilizados en motores de combustión interna debería estar dentro los parámetros admisibles por las normas que rigen las emisiones de gases y material particulado, como lo son la NOM-085-SEMARNAT-2011 (fuentes fijas) [5] y la NOM-045-SEMARNAT-2006 (fuentes móviles) [6] para el caso de México. Parte del desarrollo de este estudio se fundamenta en el proceso de pirólisis, que es una tecnología emergente la cual brinda una solución alternativa para la disminución de los residuos plásticos existentes, pues estos se aprovechan para la producción de combustibles vehiculares líquidos, tales como Gasolina, Queroseno y Diésel. La pirólisis de plástico es un proceso mediante el cual se produce la despolimerización térmica de los residuos en ausencia de oxígeno/aire. Sirve para la eliminación/transformación de los desechos de plástico a la vez que permite la recuperación de una amplia gama de hidrocarburos líquidos y gaseosos. Durante la pirólisis, los materiales poliméricos se calientan a altas temperaturas, en presencia de un catalizador apropiado, de manera que sus estructuras macromoleculares se descomponen en moléculas más pequeñas.

Este estudio se fundamenta básicamente en la necesidad de saber en qué medida se ve alterado el comportamiento de un MCI alimentado con combustible obtenido de residuos plásticos; por eso una vez producido el combustible y obtenidas sus características físico-químicas, es implementado en un banco de pruebas que cuenta con un motor diésel mono cilíndrico, su respectivo freno dinamométrico el sistema de adquisición de datos y los sensores de flujo, velocidad, torque y temperatura con los cuales se miden en tiempo real los parámetros de funcionamiento del motor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento realizado se llevó a cabo en tres partes fundamentales:

### Preparación de las mezclas.

Por medio del prototipo de pruebas se procesó poliestireno, y se obtuvo un diesel producto de la pirolisis del plástico; una vez recibido, este se mezcló en tres diferentes proporciones con diesel regular.

1. 20% combustible derivado de poliestireno con 80% diesel regular.
2. 30% combustible derivado de poliestireno con 70% diesel regular.
3. 40% combustible derivado de poliestireno con 60% diesel regular.

El volumen de trabajo se fijó en tres litros, por lo cual se usó un vaso de precipitado con el que se realizaron las mediciones en volumen y así lograr los porcentajes de mezcla deseados. La homogenización de estos compuestos se llevó a cabo con una agitadora magnética SBS.

### Caracterización de las muestras.

Una vez listas las mezclas se procedieron a tomar muestras de cada una con el fin de caracterizarlas en cuanto a densidad y poder calorífico. Para la obtención de la densidad se realizaron mediciones de peso y volumen de cada combustible por medio de una balanza digital BEL de referencia M124A y un vaso de precipitado, así finalmente se llegó a un promedio de densidad. El poder calorífico se obtuvo con una bomba calorimétrica IKA de referencia KV600 digital en la cual se depositaron muestras con peso menor a un gramo para el análisis. Debido a que el resultado que arroja la bomba calorimétrica es el PCS (poder calorífico superior) y el que se necesita para el análisis es el PCI (poder calorífico inferior) se debió aplicar una semejanza establecida por [7]:

$$PCI = 0.75 * PCS + 2000 \quad (4)$$

### Pruebas en el banco.

Con todos los parámetros dados, el paso siguiente fue realizar las pruebas en un banco GUNT HAMBURG de referencia CT159 que consta de un motor diesel mono cilíndrico de 4 tiempos, un moto-generador eléctrico, un tacómetro, un torquímetro, un caudalímetro, un par de termopares y un software de adquisición de datos, con el que se adquirieron y monitorearon en tiempo real las variables de funcionamiento como temperaturas, consumo, flujo, par y velocidad. Se realizaron cinco pruebas a cada combustible, variando la velocidad del motor (700, 1000, 1500, 2000, 2500, 2600 y 2700 rpm) con una duración entre intervalos de tres minutos y toma de datos cada treinta segundos. Finalmente con los datos obtenidos se realizan las tablas de promedios y se grafican las curvas de comportamiento del motor las cuales posteriormente se analizarán.

El componente más importante en este banco y del cual depende el estudio es el motor, ya que sus parámetros geométricos son la base del comportamiento del mismo. Las características del motor del banco son las siguientes (ver Tabla 1).

Tabla 1. Características del motor 1B20 del banco de pruebas.

Características del motor 1B20	Escala
1. Numero de cilindros.	1
2. Diámetro pistón.	69 mm
3. Carrera pistón.	62 mm
4. Cilindrada.	232 cm <sup>3</sup>
5. Tipo de alimentación	Inyección Directa

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron 5 mediciones para determinar las densidades, 5 pruebas para la obtención de los poderes caloríficos y 5 ensayos en el banco de pruebas a cada combustible para mayor fiabilidad, los resultados obtenidos ya promediados se presentan gráficamente a continuación. En la Tabla 2 se presentan los valores de la densidad para cada una de las mezclas utilizadas.

**Tabla 2. Densidad de los diferentes combustibles usados en el estudio.**

Combustible	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]
1. Diesel regular	809.505
2. Mezcla 80-20	811.136
3. Mezcla 70-30	816.804
4. Mezcla 60-40	834.565

El resultado del proceso físico-químico de la pirólisis tiene como resultado un diesel aceitoso de una densidad mayor a la del diesel regular, por eso es evidente la proporcionalidad entre el porcentaje de este diesel en la mezcla con su densidad (ver Tabla 2). Es probable que este aumento en densidad conlleve a una mayor cantidad de masa de combustible al momento de la combustión pues para cada mezcla el volumen de la cámara será constante y lo único que variaría la densidad sería un cambio de masa.

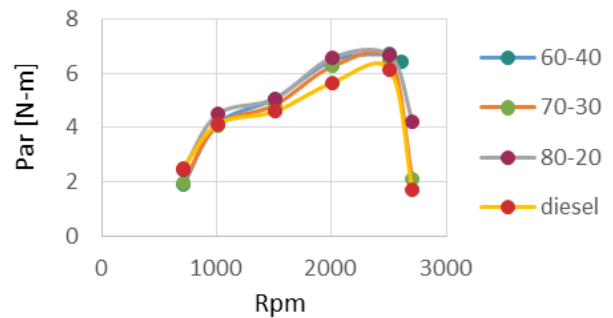
En la Tabla 3 se presentan los valores del PCI de las mezclas.

**Tabla 3. PCI de los diferentes combustibles usados en el estudio.**

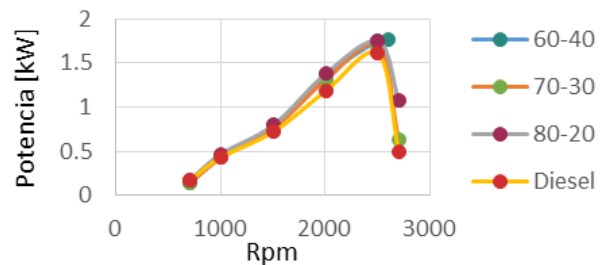
Combustible	PCI [kJ/kg]
1. Diesel regular	43113,452
2. Mezcla 80-20	42480,529
3. Mezcla 70-30	42257,402
4. Mezcla 60-40	41635,214

El resultado de los análisis realizados a las muestras de las diferentes mezclas conforme su poder calorífico arrojó que entre mayor concentración del combustible de pirólisis menor poder calorífico (ver Tabla 3). Esto se podría deber a que los productos líquidos de la pirólisis presenten una menor cantidad de hidrógeno en su composición química, en comparación al diesel regular, lo cual explicaría la reducción del poder calorífico de las mezclas, pero solo con un análisis cromatográfico se podría hacer tal aseveración.

### Prestaciones del motor

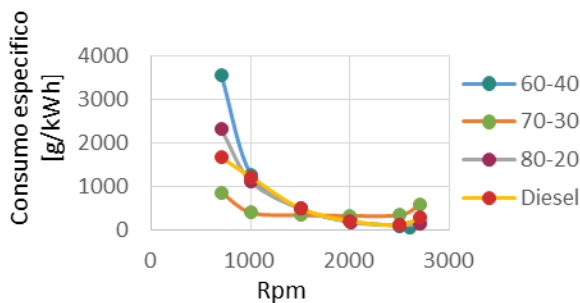


**IMAGEN 1: Grafica comparativa del par medido para cada combustible.**



**IMAGEN 2: Grafica comparativa de la potencia medida para cada combustible.**

Las mezclas 80-20 y 70-30 presentan un comportamiento regular, siendo la 80-20 continuamente superior a la 70-30, y en su mayoría ambas siempre por encima del diesel, no obstante la mezcla de composición 70-30 presenta menor torque y potencia en el rango de 700 a 1000 rpm. Por otro la mezcla 60-40 tiene la particularidad de que su comportamiento presenta cruces con las curvas de los otros combustibles, lo cual no precisa una tendencia regular (ver imágenes 1 y 2). A pesar de esto es claro el dominio del par y potencia producida por el motor con el uso de las mezclas sobre el par y potencia producida solo por diesel regular. Finalmente y no menos importante cabe resaltar que el punto de mayor torque para todos los combustibles se presenta a alrededor de las 2400 rpm y el punto de mayor potencia alrededor de las 2500 rpm.



**IMAGEN 3: Gráfica comparativa del consumo específico medido para cada combustible.**

Es notorio para todos los comportamientos la reducción significativa del consumo específico de combustible conforme aumenta la velocidad del motor, a tal punto que el punto común de menor consumo para tres de las mezclas es a alrededor de 2500 rpm (ver imagen 3). El comportamiento del consumo de la mezcla 70-30 es desconcertante pues en su forma sí presenta las características de una curva de consumo, pero no es regular con las curvas de los otros combustibles, quienes sí presentan una similitud, esto puede ser debido al método de medición de este parámetro el cual albergaba un gran porcentaje de error. Aunque las mezclas 80-20 y 60-40 presentan una gran desviación frente al diesel en valores de velocidad entre 700 y 1000 rpm, sí es importante resaltar que estas mezclas presentan en su mayoría un proceder igual en cuanto al consumo.

## CONCLUSIONES

- Del análisis presentado anteriormente se deduce que el uso del combustible obtenido de la pirólisis de desechos plásticos mezclado con diesel regular es viable en motores de combustión interna.
- Ya que el costo de producción del combustible obtenido de residuos plásticos es muy bajo y que el comportamiento de consumo es significativamente similar entre las mezclas y el diesel puro, se puede concluir que es factible económicamente el uso de estos combustibles, pues reducirían en una proporción el costo de la mezcla de combustible.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación, se dio gracias a la Universidad de Guanajuato que por medio del programa de Veranos UG me financió una beca para la estancia y movilidad desde mi país de origen. También al doctor José Manuel Riesco Ávila por todo su apoyo y conocimiento brindado para un excelente desarrollo en el trabajo, así como también al Ing. Francisco Villegas Alcaraz del Instituto Politécnico Nacional por el préstamo del banco de pruebas en el que se fundamentó este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] Pirolisis [en línea]. En EcuRed, conocimiento con todos y para todos. Recuperado de <<http://www.ecured.cu/index.php/Pir%C3%B3lisis>> [Consulta: 25 junio 2015].
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud. (19 de febrero de 2013). Nuevo informe sobre las sustancias químicas que perturban la función endocrina [en línea]. Ginebra: Autor. Recuperado de <[http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/hormone\\_disrupting\\_20130219/es/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/hormone_disrupting_20130219/es/)> [Consulta: 26 junio 2015].
- [3] Ortiz, María L. (27 de mayo de 2013). El impacto de los plásticos en el ambiente [en línea]. Ver. 1.0. Cuernavaca, Mor. Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Recuperado de <<http://www.jornada.unam.mx/2013/05/27/eco-f.html>> [Consulta: 25 junio 2015].
- [4] Fermín, Carlos. (09 de septiembre de 2013). El problema de reciclaje en América Latina [en línea]. Ver.1.0. Buenos Aires, Arg. Recuperado de <[http://www.ecoportal.net/Temas\\_Especiales/Basuraresiduos/El\\_problema\\_del\\_Reciclaje\\_en\\_America\\_Latina](http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Basuraresiduos/El_problema_del_Reciclaje_en_America_Latina)> [Consulta: 26 junio 2015].
- [5] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México). Norma Oficial NOM-085-SEMARNAT-2011. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno en los equipos de calentamiento directo por combustión.
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México). Norma Oficial NOM-045-SEMARNAT-2006. Establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible.
- [7] E.T.S. de Ingenieros Industriales, Tecnología de la combustión, Dpto. Ingeniería Energética y Fluido-mecánica, Universidad de Valladolid, pp 27-28.