

Quality of Pyrolytic Liquid Fuels Obtained by Pyrolysis of Plastics Waste

Williams Ramos, Eng.¹, Juan Valenzuela¹, Norhelia Regalado¹, Victor Pretell, MSc.¹

¹Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramos@fip.uni.edu.pe, jvalenzuelat@fip.uni.edu.pe, nregaladoj@fip.uni.edu.pe, vpretell@fip.uni.edu.pe

Abstract— The present research seeks to study the quality of the pyrolytic liquids obtained from the catalytic pyrolysis of plastic waste. Samples obtained at four temperature conditions —550 ° C, 600 ° C, 650 ° C and 700 ° C — and three were analyzed With the catalyst / plastic residue ratio conditions —0, 10 and 20% -, the following physicochemical properties were evaluated: pour point (ASTM D97), kinematic viscosity (ASTM D445) and Pensky Martens flash point (ASTM D93). The results obtained show that the higher the catalyst / plastic residue ratio, the lower the pour point. Regarding the viscosity, the higher catalyst / plastic residue ratio and for the same temperature, the viscosity decreases. In the case of the Pensky Martens flash point, the higher the catalyst / plastic residue ratio, the lower the flash point. It is concluded that the liquid product obtained does not meet the national specification of Diesel B5, but it resembles a Talara crude.

Keywords— Quality, plastic waste, physicochemical properties, pyrolytic liquid.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.99>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Calidad de los Combustibles Líquidos Pirolíticos Obtenidos por Pirólisis de Residuos Plásticos

Quality of Pyrolytic Liquid Fuels Obtained by Pyrolysis of Plastics Waste

Williams Ramos, Eng.¹, Juan Valenzuela¹, Norhelia Regalado¹, Victor Pretell, MSc.¹

¹Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramos@fip.uni.edu.pe, jvalenzuelat@fip.uni.edu.pe, nregaladoj@fip.uni.edu.pe, vpretell@fip.uni.edu.pe

Resumen— La presente investigación busca estudiar la calidad de los líquidos pirolíticos obtenidos a partir de la pirólisis catalítica de residuos plásticos, se analizaron muestras obtenidas a cuatro condiciones de temperatura —550 °C, 600 °C, 650 °C y 700 °C— y tres condiciones de relación catalizador/residuo plástico —0, 10 y 20 %—, se evaluaron las siguientes propiedades fisicoquímicas punto de fluidez (ASTM D97), viscosidad cinemática (ASTM D445) y punto de inflamación Pensky Martens (ASTM D93). Los resultados obtenidos muestran que a mayor relación catalizador/residuo plástico menor punto de fluidez. Respecto a la viscosidad a mayor relación catalizador/residuo plástico y para una misma temperatura disminuye la viscosidad. En el caso del punto de inflamación Pensky Martens a mayor relación catalizador/residuo plástico menor punto de inflamación. Se concluye que el producto líquido obtenido no cumple con la especificación nacional del Diesel B5, pero se asemeja a un crudo Talara.

Palabras claves— Calidad, residuos plásticos, propiedades fisicoquímicas, líquido pirolítico

Abstract— The present research seeks to study the quality of the pyrolytic liquids obtained from the catalytic pyrolysis of plastic waste. Samples obtained at four temperature conditions —550 °C, 600 °C, 650 °C and 700 °C— and three were analyzed with the catalyst / plastic residue ratio conditions —0, 10 and 20%—, the following physicochemical properties were evaluated: pour point (ASTM D97), kinematic viscosity (ASTM D445) and Pensky Martens flash point (ASTM D93). The results obtained show that the higher the catalyst / plastic residue ratio, the lower the pour point. Regarding the viscosity, the higher catalyst / plastic residue ratio and for the same temperature, the viscosity decreases. In the case of the Pensky Martens flash point, the higher the catalyst / plastic residue ratio, the lower the flash point. It is concluded that the liquid product obtained does not meet the national specification of Diesel B5, but it resembles a Talara crude.

Keywords— Quality, plastic waste, physicochemical properties, pyrolytic liquid.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú la producción de combustibles líquidos se realiza principalmente a partir de la refinación del petróleo. Asimismo, existe un déficit en dicha producción a nivel nacional (comparado con la demanda), ya que no se

cuenta con la infraestructura necesaria para producir los combustibles con las especificaciones técnicas que cumplan las leyes vigentes, por lo que se importa una cantidad considerable de combustibles líquidos [1], [2].

Asimismo la producción de petróleo es menor a la necesidad de carga de las refinarias, por lo que existe un déficit de crudo para el procesamiento que permita obtener la cantidad de combustibles que el país demanda, por lo que el resto del crudo necesario se importa [2].

En el caso de los combustibles líquidos, la demanda del diésel ha ido aumentando en los últimos años con una tendencia a mayor déficit de oferta local. En el 2019, la demanda de diésel fue de 117 Miles de Barriles por día (MBPD) reflejando un leve incremento del 0.5 % respecto al año 2018, en contraste con la caída de la oferta del 17.1%, la cual alcanzó el valor de 46 MBPD [3]–[5]. Asimismo, el déficit del balance oferta – demanda de las gasolineras ha ido en aumento, lo que implica que la brecha entre la oferta y la demanda ha sido cada vez mayor. En el 2019 la demanda totalizó 51.3 MBPD (2.3 % mayor que en el año 2018) mientras que la oferta fue de 48.5 MBPD (mayor en 5 % que en el 2018) [3]–[5].

Por esta razón, es importante cubrir el déficit de combustibles que el Perú requiere, por lo que se buscan formas y métodos alternativos para su obtención y que se consiga la disminución de la importación de crudo y derivados, asegurando el abastecimiento energético del país [5].

Actualmente se estudian procedimientos alternativos como la pirólisis catalítica que consiste en la degradación térmica de una carga en ausencia de oxígeno en presencia de un catalizador para la obtención de combustibles líquidos. Uno de los residuos con potencial para ser fuente de combustibles son los residuos plásticos, los cuales son una alternativa atractiva para la producción de combustibles líquidos, que podrían satisfacer parcialmente la demanda de combustibles y sobre todo disminuir la contaminación, ya que podría eliminar los residuos plásticos existentes en el medio ambiente y además generan pocos gases contaminantes (como el CO₂ y gases azufrados) en el proceso de conversión termoquímica [4]–[8].

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.99>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

La calidad de los combustibles líquidos se determina mediante el estudio de sus propiedades fisicoquímicas, por lo que se realizan ensayos de laboratorio para establecer el valor de dichas propiedades. Asimismo, para que un combustible pueda ser comercializado, tiene que cumplir la especificación técnica establecida por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), es decir, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, tienen que encontrarse dentro de un rango de valores establecidos, asimismo el análisis de las propiedades mencionadas tiene que ser realizadas mediante métodos estandarizados. En el caso del Biodiesel B5, debe cumplir con la especificación técnica establecida en el Decreto Supremo DS-0092-2009-EM del MINEM, que especifica cuales son las propiedades fisicoquímicas que tienen que ser analizadas y cuáles son las normas a seguir, entre las cuales están las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Dichas propiedades son: Destilación, punto de inflamación Pensky Martens, densidad, viscosidad cinemática, punto de escurrimiento, índice de cetano, contenido de cenizas, contenido de carbón Ramsbottom, contenido de azufre total, corrosión a la lámina de cobre, contenido de agua y sedimentos, entre otros [9]–[12].

Entre las propiedades más importantes para la determinación de la calidad de los combustibles líquidos, están la viscosidad cinemática (ASTM D445), el punto de fluidez (ASTM D97) y el punto de inflamación (ASTM D93) [2], [4], [10], [12].

La viscosidad cinemática es una medida de la resistencia interna de un líquido o un gas a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Esta es importante en los combustibles líquidos derivados del petróleo para poder estimar las condiciones de almacenamiento, manipulación y condiciones operativas de procesamiento. Usualmente se mide según lo establecido por la norma ASTM D445 en la cual se especifica el uso de tubos capilares como el Cannon-Fenske o Ubbelohde, calibrados y sumergidos en un baño isotérmico cuidadosamente controlado. Para el cálculo se mide el tiempo que necesita el volumen fijo de combustible líquido para que fluya por gravedad a través del capilar del viscosímetro la cual se realiza a 40 °C. La viscosidad cinemática es el producto del tiempo de flujo medido y la constante de calibración del viscosímetro. Asimismo, la determinación exacta de la viscosidad cinemática es esencial para muchas especificaciones de productos comerciales como el caso del Diesel B5, la cual tiene que encontrarse dentro el rango de 1.9 y 4.1 cSt [10], [13].

El punto de inflamación es la temperatura a la cual, un líquido produce suficientes vapores (equilibrio líquido-vapor) que en presencia de una atmosfera oxidante se inflamará al aplicar una fuente de calor. El punto de inflamación determina la máxima temperatura a la que se puede almacenar y manipular un combustible sin implicar riesgo de incendio. En el caso de productos derivados del petróleo, el punto de inflamación es determinado mediante el método de la copa cerrada Pensky Martens (ASTM D93), en la cual se mide la

respuesta al calor y la llama en condiciones controladas de laboratorio. En el caso del Biodiesel B5 el valor de punto de inflamación Pensky Martens debe ser mayor a 52 °C, lo cual permite considerar que en el almacenamiento este producto no es peligroso por ser menor la temperatura de almacenamiento [10], [14].

El punto de fluidez o punto de escurrimiento es la temperatura más baja a la que se observa que un combustible líquido fluye por gravedad. Dicho punto es importante debido a que representa la menor temperatura que el combustible pueda alcanzar y aún estar suficientemente fluido para ser bombeado o transferido. Esta propiedad es medida usualmente según lo establecido en la ASTM D97 y en el caso del Biodiesel B5 tiene que ser menor a 4 °C [10], [15].

En la presente investigación se medirán tres de las propiedades más importantes para la determinación de la calidad de los combustibles líquidos: la viscosidad cinemática, punto de fluidez y el punto de inflamación. Dichas propiedades se determinarán aplicando los métodos estándar ASTM D445 para la viscosidad cinemática, D93 para el punto de inflamación Pensky-Martens y D97 para el punto de fluidez, los resultados serán comparados con las especificaciones técnicas para el Biodiesel B5 establecido en el DS 092-2009-EM por el MINEM, asimismo, se comparará con la calidad típica de los crudos de la zona de Talara y los crudos de la zona de la Selva, de esta forma se busca poder determinar si el combustible líquido obtenido por la pirólisis catalítica de residuos plásticos, cumple con la calidad del Biodiesel B5 o con la calidad típica de un crudo peruano.

MÉTODOS Y MATERIALES

A. Muestras

Las muestras son productos líquidos que fueron obtenidos por pirólisis catalítica de residuos plásticos a temperaturas de 550, 600, 650 y 700 °C, usando 0, 10 y 20 % de catalizador de equilibrio de FCC con área superficial de 109 m²/g y tamaño promedio de poro de 4.66 nm, la adición del catalizador buscó una mejora en la calidad del líquido pirolítico. Estas muestras fueron obtenidas en el proceso mencionado en la referencia [5]. En la Tabla I se da a conocer la relación de muestras y se mencionan que condiciones experimentales fueron utilizadas para obtener dichos combustibles.

TABLA I
RELACIÓN DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD

Relación Catalizador/ materia prima (%)	Temperatura de operación de la pirólisis (°C)			
0	-	600	650	700
10	550	600	650	700
20	550	600	650	700

Como se muestra en la Tabla I, se cuenta con un total de once muestras (obtenidas a condiciones operativas diferentes). Con ellas se realizó el análisis de cada propiedad

fisicoquímica —Punto de fluidez, viscosidad cinemática y punto de inflamación Pensky Martens— por triplicado para de esta forma poder asegurar la repetibilidad en los resultados [4]. En la figura 1 se muestra el combustible líquido pirolítico obtenido a partir de residuos plásticos.



Fig. 1 Líquido pirolítico obtenido a partir de la pirólisis catalítica de residuos plásticos

B. Determinación del Punto de Fluidez (ASTM D97)

Se determinó el punto de fluidez en °C mediante la norma estandarizada ASTM D97-17b (Método de prueba estándar para punto de fluidez de productos de petróleo) a las muestras de líquido pirolítico obtenidos por la pirólisis catalítica a partir de los residuos plásticos con 0, 10 y 20 de relación catalizador/residuo plástico (% m/m) y a 550 °C, 600 °C, 650 °C y 700 °C. El procedimiento consistió en llenar el frasco de prueba de punto de fluidez hasta la marca indicada, colocar un tapón que contiene un termómetro ASTM 5C en la parte superior, el bulbo del termómetro debe encontrarse dentro de la muestra. Asimismo, el frasco de prueba (junto con el termómetro) se introduce dentro de un baño de enfriamiento, luego de que el líquido se congela, se retira el frasco de prueba y se observa la temperatura (con ayuda del termómetro) a la cual el líquido congelado empieza a fluir, para de esta forma determinar el punto de fluidez de la muestra [5], [15].

C. Determinación de la Viscosidad Cinemática (ASTM D445)

Se determinó la viscosidad cinemática de las muestras de líquido pirolítico en cSt empleando la norma estandarizada ASTM D445-18 (Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos). Para ello se precalentó el baño a 40 °C, posteriormente se cargó la muestra en un viscosímetro de Ostwald con ayuda de una bomba de vacío y tapando el capilar con un tapón de jebes. Posteriormente, fue introducido en el baño viscosimétrico manteniéndolo durante 30 minutos hasta que alcance la temperatura de 40 °C. Luego de dicho periodo, se retiró el tapón, se registró el tiempo del paso del líquido en cada una de las marcas del viscosímetro. Se calculó la viscosidad cinemática como el promedio de los tiempos registrados multiplicados por las constantes de calibración del instrumento. En la Fig. 2 se muestra el equipo utilizado.



Fig. 2 Equipo empleado en la determinación de la viscosidad cinemática

D. Determinación del Punto de Inflamación Pensky Martens (ASTM D93)

Se determinó el punto de inflamación Pensky Martens según ASTM D93-18 (Método de prueba estándar para el punto de inflamación en copa cerrada Pensky Martens) a las muestras de líquido pirolítico. El procedimiento consistió en llenar el contenedor de muestra con el líquido pirolítico, posteriormente se encendió la llama piloto que es parte del equipo y se regula el equipo de tal modo que el calentador tenga una velocidad de calentamiento entre 1 a 1.6 °C/min y el agitador gire aproximadamente a 250 RPM. El equipo cuenta con un pulsador que mueve la llama piloto de manera momentánea dentro del contenedor de muestra (donde se han generado vapores debido al calentamiento del mismo), se oprimió el pulsador cada 1°C de calentamiento de la muestra, para de esta forma comprobar si se ha llegado al punto de inflamación. El experimento concluye cuando por encima del líquido (donde están los vapores) se encendió momentáneamente una pequeña llama sobre toda la superficie del líquido, lo que significa que se llegó al punto de inflamación [5], [14]. En la Fig. 3 se muestra el equipo utilizado para la determinación del punto de inflamación Pensky Martens.



Fig. 3 Equipo utilizado para la determinación el punto de inflamación Pensky Martens

II. RESULTADOS

A. Resultados del punto de fluidez

Luego de analizar cada una de las muestras mediante el procedimiento establecido por la norma ASTM D97, se obtuvieron los resultados del punto de fluidez de los líquidos pirolíticos que se muestran en la Tabla II.

TABLA II
PUNTO DE FLUIDEZ DE LOS LÍQUIDOS PIROLÍTICOS

Relación catalizador/ Residuo plástico (% m/m)	Temperatura de pirólisis (°C)	Punto de Fluidez (°C)
0%	600	0
	650	-3
	700	-3
10%	550	<-30
	600	-6
	650	-3
	700	-6
20%	550	<-30
	600	<-30
	650	<-30
	700	<-30

B. Resultados de la viscosidad cinemática

Luego de realizar el ensayo de viscosidad cinemática según la norma ASTM D445 a cada una de las muestras de líquido pirolítico, se obtuvieron los resultados de la viscosidad cinemática, los cuales se muestran en la Tabla III.

TABLA III
VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE LOS LÍQUIDOS PIROLÍTICOS

Relación catalizador/ Residuo plástico (% m/m)	Temperatura de pirólisis (°C)	Viscosidad Cinemática (cSt)
0%	600	2.22
	650	2.37
	700	2.46
10%	550	1.78
	600	2.22
	650	2.44
20%	550	1.65
	600	1.71
	650	1.90
	700	1.70

C. Resultados de punto de inflamación Pensky Martens

Luego de realizar el procedimiento establecido por la norma ASTM D93 a cada una de las muestras, se obtuvieron las temperaturas del punto de inflamación Pensky Martens. Los resultados se muestran en la Tabla IV.

TABLA IV
PUNTO DE INFLAMACIÓN PENSKY MARTENS DE LOS LÍQUIDOS PIROLÍTICOS

Relación catalizador/ Residuo plástico (% m/m)	Temperatura de pirólisis (°C)	Temperatura del P.I. Pensky- Martens (°C)
0%	600	42
	650	42
	700	41
10%	550	45.5
	600	37
	650	35
	700	37
20%	550	35
	600	39
	650	37
	700	40

III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A. Discusión de los resultados del punto de fluidez

En la Fig. 4 se observa que una mayor relación catalizador/residuo plástico, se obtienen productos líquidos con un menor punto de fluidez, además se observa que cuando la relación catalizador materia prima es de 20 % se obtiene el punto de fluidez más bajo de toda la matriz experimental (-30 °C). Esta tendencia ocurre debido a que el catalizador presente en la pirólisis genera que los residuos plásticos tengan mayores rupturas, ocasionado que las moléculas que se producen de ese modo sean más ligeras (más pequeña comparadas con la obtenidas en la pirólisis no catalítica), estas moléculas generalmente se encuentran en fase líquida a condiciones ambientales, la disminución del tamaño de las moléculas que componen el líquido pirolítico (en promedio) generan que el punto de fluidez disminuya [5], [8], [16].

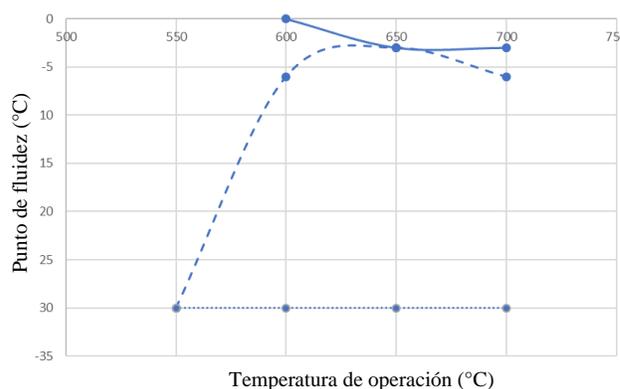


Fig. 4 Comparación del punto de fluidez de las muestras (Sólido: 0% Rel. Cat. / M.P., Guión largo: 10% Rel. Cat. / M.P., Punto Redondo: 20% Rel. Cat. / M.P.)

B. Discusión de los resultados de la viscosidad cinemática

En la Fig. 5 se muestra que a un mayor porcentaje de catalizador (20 %) usado en la pirólisis catalítica de los residuos plásticos, se producen líquidos con una menor viscosidad cinemática. Esto debido a que el catalizador genera que las moléculas del polímero se rompan de manera más

efectiva, generando moléculas más pequeñas y que son más ligeras al fluir, generando la disminución de la viscosidad cinemática [5], [8], sin embargo apreciamos que a relaciones menores del 10 % del catalizador/residuo plástico la viscosidad aumenta respecto a la pirólisis no catalítica, ello indica que si se quiere obtener un producto similar al Diesel B5 se debe trabajar a relaciones menores al 20 % ya que la especificación indica que la viscosidad cinemática debe ser mayor a 1.9 y menor a 4.1 cSt a 40 °C.

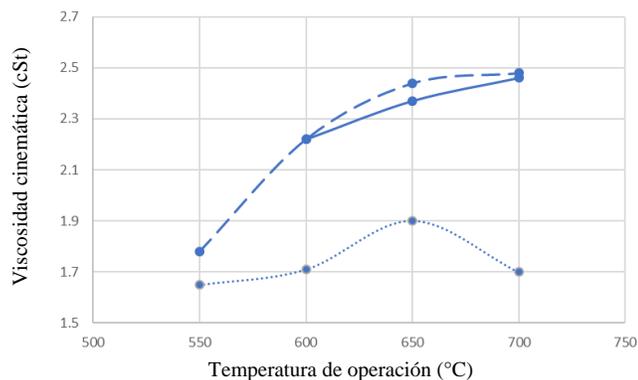


Fig. 5 Comparación de la viscosidad cinemática de las muestras (Sólido: 0% Rel. Cat. / M.P., Guión largo: 10% Rel. Cat. / M.P., Punto Redondo: 20% Rel. Cat. / M.P.)

C. Discusión de los resultados del punto de inflamación Pensky Martens

En la Fig. 6 se muestra que a la temperatura de 550 °C los productos con menor punto de inflamación son los obtenidos a una relación catalizador/residuo plástico de 20 % (comparados con el 10 %). Esto debido a que el catalizador ocasiona que la materia prima se descomponga en productos más ligeros, a mayor cantidad de productos ligeros el punto de inflamación será menor. Si la temperatura de pirólisis es baja (550 °C) los vapores generados no tienen la suficiente energía para salir del sistema, formando un equilibrio líquido-vapor dentro del reactor, ocasionando que el punto de inflamación del líquido pirolítico disminuya [5], [8], [16], [17].

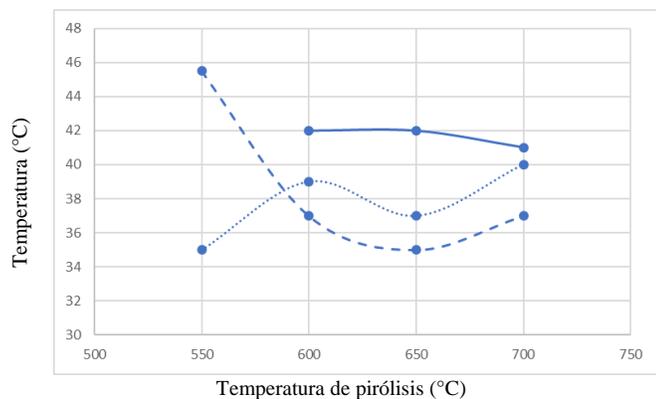


Fig. 6 Comparación del Punto de Inflamación Pensky Martens de las muestras (Sólido: 0% Rel. Cat. / M.P., Guión largo: 10% Rel. Cat. / M.P., Punto Redondo: 20% Rel. Cat. / M.P.)

De igual forma, se muestra que, desde la temperatura de 600 °C a 700 °C, la relación catalizador/residuo plástico de 10 % tiene los productos líquidos con menor punto de inflamación. Esto ocurre porque el producto líquido se encuentra en equilibrio con el vapor (equilibrio líquido vapor), pero dicho vapor aún no cuenta con la energía suficiente para ser retirado de la zona de reacción y allí son craqueados a moléculas más pequeñas. En cambio, los productos gaseosos obtenidos de la relación catalizador/materia prima de 20 % tienen la energía suficiente para ser retirados del sistema, generando que exista menor vapor en equilibrio con el líquido al interior del reactor y por ende menor cantidad de moléculas pequeñas en el producto final. Los productos líquidos obtenidos de la pirólisis no catalítica son más pesados por lo que su punto de inflamación será mayor [4], [5], [8], [18].

En ambos casos si se compara el punto de inflamación respecto a la especificación del Diesel B5 se aprecia que no se cumple porque el valor mínimo es 52 °C, lo cual no se consigue a ninguna condición de la pirólisis catalítica.

D. Discusión de Resultados frente a especificación técnica del Biodiesel B5

Se comparó los resultados del producto líquido obtenido frente a las especificaciones técnicas del Biodiesel B5 como establece el Decreto Supremo DS-0092-2009-EM del MINEM [9]–[12], en la Tabla V se muestran los resultados del producto líquido pirolítico y la especificación técnica del Diesel B5.

TABLA V
COMPARACIÓN VERSUS ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL DIESEL B5

Parámetro	Norma ASTM	Líquido pirolítico		Diesel B5 (DS-0092-2009-EM)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Punto de Fluidez (°C)	D97	-30	0	-	+4
Viscosidad Cinemática (cSt)	D445	1.7	2.5	1.9	4.1
Punto de Inflamación P.M. (°C)	D93	35.0	45.5	52.0	-

En la Tabla V se muestra que el líquido pirolítico si se compara respecto al punto de fluidez del Diesel B5 si cumple para todas las condiciones de la pirólisis catalítica, siendo lo recomendable trabajar a una relación catalizador/residuo plástico de 10% y a una temperatura entre 550 °C a 600 °C ya que para esas condiciones el punto de fluidez está a -5 °C.

Analizando respecto a la viscosidad cinemática solo cumple el líquido pirolítico obtenido a una relación catalizador/residuo plástico de 10% y a una temperatura entre 600 °C a 700 °C ya que según la especificación del Diesel B5 la viscosidad debe ser mayor a 1.9 cSt y menor a 4.1 cSt.

Respecto al punto de inflamación de los líquidos pirolíticos esta no cumple la especificación del Diesel B5 a ninguna condición de la pirólisis.

E. Discusión de resultados frente a la calidad típica de los crudos nacionales

Se comparó los resultados del producto líquido obtenido frente a calidad típica de crudo de la Zona de Talara y crudos de la Zona Selva del Perú, según lo establecido en la referencia [19] en la Tabla VI se muestran los resultados del producto líquido pirolítico versus la calidad típica de crudos peruanos. El producto líquido obtenido a partir de la pirólisis catalítica de los residuos plásticos tiene una calidad similar a la calidad típica de los crudos peruanos, específicamente al crudo Talara, esto debido a que el crudo Talara presenta componentes ligeros al igual que el líquido pirolítico [19].

TABLA VI
COMPARACIÓN DEL LIQUIDO PIROLÍTICO FRENTE A CALIDAD TÍPICA DE CRUDOS PERUANOS

Parámetro	Norma ASTM	Líquido pirolítico		Crudo Talara		Crudo Selva	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min	Max
Punto de Fluidez (°C)	D97	-30	0	-21	21	-24	-3
Viscosidad Cinemática (cSt)	D445	1.7	2.5	2.7	30.6	16.8	371
Punto de Inflamación P.M. (°C)	D93	35	45.5	-	62.5	-	-

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que el catalizador adicionado en el proceso de pirólisis catalítica de residuos plásticos, afecta significativamente la calidad de los productos líquidos obtenidos, asimismo se determinó que las condiciones operativas que producen un líquido pirolítico semejante al Diesel B5 se hallan a una relación catalizador/residuo plástico de 10 % y en un rango de temperatura entre 600 °C y 700 °C. Es necesario realizar un mayor estudio alrededor de esos puntos para orientar al producto líquido dentro de la especificación técnica.

Se concluye que el producto líquido pirolítico no cumple con la especificación técnica de un Diesel B5, ya que tiene mucha presencia de componentes volátiles. Asimismo, se concluye que el producto líquido pirolítico tiene una calidad similar a la calidad típica del crudo Talara, por lo que podría considerarse como un crudo sintético.

AGRADECIMIENTOS

Los Investigadores agradecen al Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos por el apoyo experimental e intelectual en el proyecto.

Asimismo, agradecen a la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería por el financiamiento del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] OSINERGMIN, "Reporte Semestral de Monitoreo del mercado de hidrocarburos," Lima, 2019.
- [2] OSINERGMIN, *Libro Industria Hidrocarburos Líquidos Peru: 20 años de Aporte al Desarrollo del País*. 2015.
- [3] OSINERGMIN, "Reporte diario del mercado de hidrocarburos," 2018.
- [4] W. Ramos, "Obtención de combustibles líquidos a partir de residuos de polipropileno.," Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
- [5] W. Ramos, V. Pretell, and C. Lujan, "Pirólisis Catalítica de Residuos de Polipropileno para la Obtención de Combustibles Líquidos," in *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities,"* 2019, no. July, pp. 24–26.
- [6] C. Lujan and W. Ramos, "Pirólisis catalítica de residuos de polipropileno para obtención de combustibles líquidos," vol. 2, no. 1, 2018.
- [7] Y. Guo, "Polyethylene Terephthalate (Asia Pacific)," no. January, pp. 1–2, 2014.
- [8] R. Miandad, M. Barakat, A. S. Aburiazaza, M. Rehan, and A.-S. Nizami, "Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 102, no. June, pp. 822–838, 2016.
- [9] INDECOPI, "PETRÓLEO Y DERIVADOS. Diesel. Especificaciones," vol. 2003, 2014.
- [10] CERTIPETRO, "Informe Técnico del Informe de Ensayos N° IE-109314," pp. 4–7, 2014.
- [11] PETROPERU, "Especificación Técnica del Biodiesel B5," 2019. [Online]. Available: <https://www.petroperu.com.pe/Docs/spa/files/productos/et-db5-s50.pdf>.
- [12] MINEM, "DS-092-2009-EM," 2009. [Online]. Available: http://www.minem.gob.pe/_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=3033.
- [13] ASTM, "Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity) - ASTM D445," in *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, no. March, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International, 2008, pp. 126-126–8.
- [14] ASTM, "Standard Test Method for Flash Point by the Equilibrium Method With a Closed Cup - ASTM D93," vol. 05, no. Reapproved, pp. 5–7, 2001.
- [15] ASTM, "Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products - ASTM D97," *ASTM Int.*, vol. 2, pp. 1–5, 2012.
- [16] M. Rehan *et al.*, "Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 119, pp. 162–175, 2017.
- [17] D. Uriarte, "Experimentación de la obtención de combustibles líquidos a partir de polietileno de alta densidad.," Universidad Nacional de Ingeniería, 2018.
- [18] D. Chen, L. Yin, H. Wang, and P. He, "Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review," *Waste Manag.*, vol. 37, pp. 116–136, 2015.
- [19] V. Pretell, "Pirólisis Rápida de Biomasa de Palma Africana y Caña de Azúcar para la obtención de Bio-Petroleo." Lima, 2013.