






# Obtaining and Characterization of Liquid Fuels Obtained from Co-Pyrolysis of Disposable Glove Waste

Williams Ramos, MSc. <sup>1</sup>, Yanet Condori<sup>1</sup>, Dennzel Ramirez<sup>1</sup>, Ronaldo Castillejo<sup>1</sup> and Carlos Ubillas, Ing. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramosv@uni.edu.pe, yanet.condori.i@uni.edu.pe, dennzel.ramirez.r@uni.pe, ronaldo.castillejo.m@uni.pe, carlos.ubillas.a@uni.pe

*Abstract– In this work, we address the issue of managing disposable glove waste in the laboratories of the Faculty of Petroleum, Natural Gas, and Petrochemical Engineering at the National University of Engineering. These wastes represent a source of environmental pollution and an opportunity to explore renewable energy alternatives in the context of Peru's energy challenges. The thermal co-pyrolysis process is proposed as a solution to convert glove waste into liquid fuels. In this study, a yield of 43.3% was achieved in the production of liquid products through this process. The resulting products were characterized using ASTM assays and the DWSIM process simulator. It was found that the liquid fuels obtained exhibit similarities with Diesel B5 S-50, one of the most commonly used commercial fuels in Peru.*

*Keywords: Glove waste, Pyrolysis, Liquid fuels, Characterization, Diesel B5 S-50.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Obtención y Caracterización de Combustibles Líquidos Obtenidos a Partir de Co-Pirólisis de Residuos de Guantes Desechables

Williams Ramos, MSc. <sup>1</sup>, Yanet Condori<sup>1</sup>, Dennzel Ramirez<sup>1</sup>, Ronaldo Castillejo<sup>1</sup> and Carlos Ubillas, Ing. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramosv@uni.edu.pe, yanet.condori.i@uni.edu.pe, dennzel.ramirez.r@uni.pe, ronaldo.castillejo.m@uni.pe, carlos.ubillas.a@uni.pe

**Resumen**— En este trabajo, se aborda el problema de la gestión de residuos de guantes desechables en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Estos residuos representan una fuente de contaminación ambiental y una oportunidad para explorar alternativas de energía renovable en el contexto de los desafíos energéticos del Perú. Se propone el proceso de co-pirólisis térmica como una solución para convertir los residuos de guantes en combustibles líquidos. En este estudio, se logró un rendimiento del 43.3% en la producción de productos líquidos mediante este proceso. Los productos resultantes fueron caracterizados utilizando ensayos ASTM y el simulador de procesos DWSIM. Se encontró que los combustibles líquidos obtenidos presentan similitudes con el Diésel B5 S-50, uno de los combustibles comerciales más utilizados en el Perú.

**Palabras clave:** Residuos de guantes, Pirólisis, Combustibles líquidos, Caracterización, Diésel B5 S-50.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria plástica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, y los guantes desechables compuestos principalmente por látex o nitrilo han sido ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, debido a que son plásticos de un solo uso, vienen generando una gran cantidad de residuos [1]. La eliminación de guantes desechables presenta desafíos debido a su peligrosidad biológica, la falta de biodegradabilidad y la generación de compuestos orgánicos clorados al incinerarse [2]. Los residuos de guantes desechables aparte de los componentes plásticos pueden presentar concentraciones significativas de metales pesados y otros componentes tóxicos [3]. La gestión inadecuada de los guantes desechables contribuye a la problemática de la contaminación por residuos plásticos. En la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería se estima que se producen como residuos alrededor de 3000 guantes desechables por periodo académico.

Asimismo, el Perú depende en gran medida de la importación de diésel para cubrir su necesidad energética, ya que la producción nacional no logra satisfacer la creciente demanda. Según los datos registrados por la Dirección General de Hidrocarburos (DGH) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), en enero de 2023, la producción de combustibles alcanzó los 241.06 miles de barriles por día, siendo el diésel uno de los más producidos. Sin embargo, la demanda en ese mismo mes fue de 246.79 miles de barriles por día, lo que implica un déficit y la necesidad de importar diésel. El

informe estadístico mensual del MINEM muestra que el Perú importó alrededor de 25 768 miles de barriles de petróleo y derivados de petróleo, en donde el diésel representa un 42.57% de importación.

La gestión de los residuos plásticos y de los desechos médicos constituye un desafío global, y si bien existen esfuerzos para abordar estas problemáticas, aún se requiere de investigaciones adicionales para desarrollar soluciones efectivas y sostenibles [4][5]. La gestión adecuada de los residuos de guantes desechables a través de su conversión en combustibles líquidos por pirólisis contribuiría a abordar la problemática de los desechos médicos y a reducir la dependencia de los combustibles fósiles convencionales, promoviendo una economía circular [1].

La conversión de los residuos de guantes desechables en combustibles líquidos no solo abordaría la problemática de los desechos de plástico de un solo uso y promovería una gestión responsable de los residuos, sino que también tendría un impacto positivo en el ámbito energético. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados, esta conversión contribuiría a disminuir la importación de combustibles y, por lo tanto, fortalecería la autosuficiencia energética del país [2][6].

La pirólisis es un proceso termoquímico que transforma residuos sólidos en ausencia de oxígeno en productos líquidos (biopetróleo) y productos sólidos (biocarbón). Esta técnica es aplicable a una amplia gama de residuos. La selección de las condiciones y tipos de reactores depende de los productos deseados y las propiedades de los residuos. Con el aumento de la disponibilidad de estos residuos, la pirólisis se presenta como una opción atractiva, ya que puede considerarse una fuente de "costo negativo". El biopetróleo obtenido de la pirólisis tiene propiedades similares a los combustibles líquidos comerciales [7].

La co-pirólisis es una modalidad del proceso de pirólisis que se lleva a cabo con más de una muestra simultáneamente. A diferencia de la pirólisis convencional, donde se trata una sola muestra, en la co-pirólisis se procesan múltiples muestras de manera conjunta. Este método permite maximizar la eficiencia y el rendimiento al utilizar de manera más efectiva los recursos y el tiempo [8].

Además, la co-pirólisis de guantes desechables no conlleva implicaciones ambientales significativas. Esto se debe a que los gases generados durante el proceso consisten principalmente en alcanos y alquenos, con una mínima cantidad de hidrógeno. De acuerdo con las referencias, no se

detectó la presencia de CO<sub>2</sub> ni CO, y tampoco se encontró sulfuro de hidrógeno en los gases de pirólisis por debajo de un límite de detección de 0.01 mg/g de plástico. El gas más comúnmente producido es el buteno/butadieno, con un rendimiento de 4.0 mg/g de muestra cuando la temperatura de reacción alcanzó los 380°C. Los altos rendimientos de buteno/butadieno podrían atribuirse a la descomposición del isopreno a butadieno a través de la pérdida del grupo metilo, o posiblemente al buteno formado por la descomposición del limoneno. El metano es el segundo gas más prevalente durante la pirólisis no catalítica de guantes desechables, seguido por C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>, que se distribuyen de manera equitativa entre los alcanos y los alquenos [9].

En el estudio de Hall y colaboradores [9], se realizó la pirólisis de guantes de látex desechados con un catalizador de Y-zeolita. Los autores señalan que la presencia de este catalizador aumentó significativamente los rendimientos de compuestos aromáticos valiosos, como tolueno y xilenos. Además, la Y-zeolita catalizó la descomposición del limoneno presente en los productos de pirólisis. Los experimentos se llevaron a cabo a temperaturas de reacción de 380 °C y 480 °C, observándose que la temperatura más alta condujo a mayores rendimientos de los compuestos deseados.

Según el proyecto de investigación titulado "Oxidative Pyrolysis of Examination Rubber Gloves in the Integral Pyrolysis Test Plant" realizado por Zakaria y colaboradores en el 2011 [10], se diseñó y construyó una planta de prueba para la pirólisis de diferentes tipos de guantes desechables. El reactor operó a una temperatura de aproximadamente 500 °C y una velocidad de alimentación de 2 kg/h. Los resultados obtenidos incluyeron perfiles de tiempo y temperatura, evolución de gases y rendimiento del producto. Se observó la presencia de oxígeno debido a problemas de sellado que afectaron la composición del producto líquido resultante.

Wang y Zhao en el 2015, investigaron la cinética de pirólisis de guantes desechables en un rango de temperatura de 100 a 1000 °C y tasas de calentamiento de 5, 10, 20 y 40 °C/min. Se observó que, con el aumento de la tasa de calentamiento, el pico de las curvas de termogravimetría se desplazaba hacia temperaturas más altas, con un cambio de aproximadamente 40 °C de 5 a 40 °C/min. Además, se utilizaron tres métodos de isoconversión y se encontró que las diferencias en las energías de activación aparentes obtenidas no superaban los 21 kJ/mol. Los resultados mostraron que la pirólisis de los guantes de goma tiene una gama de energías de activación aparentes entre 103.88 y 184.33 kJ/mol [11].

Según el estudio de Assefa y equipo en el 2021 [12] se encontró que las mascarillas faciales utilizadas durante la pandemia de COVID-19 están hechas de polipropileno mientras que los guantes desechables están compuestos principalmente por PVC. Los autores mencionan que estos polímeros pueden ser transformados en energía de combustible a través de la pirólisis. Además, el estudio realizó la pirólisis a una temperatura de 400 °C durante 1 hora,

obteniendo un 75 % de líquido y cera, un 10 % de residuos carbonosos y el resto de los gases no condensables.

En la Tabla I se observa un resumen de los antecedentes referenciales revisados para la investigación.

TABLA I  
RESUMEN DE ANTECEDENTES REFERENCIALES

Autor/es	Catalizador	Temperatura de Reacción	Tipo de Carga
Hall et al.	Y-zeolita	380 °C y 480 °C	Guantes de látex desechados
Zakaria et al.	No catalítico	Aprox. 500 °C	Diferentes tipos de guantes desechables
Wang y Zhao	No catalítico	100-1000 °C	Guantes desechables
Assefa et al.	No catalítico	400 °C	Mascarillas faciales y guantes desechables

De los antecedentes referenciales, se observa que no se ha estudiado la pirólisis de residuos de guantes desechables con una carga de alimentación basado en la composición de residuos de guantes de látex y guantes de nitrilo generados. Además, se observa que no se ha estudiado la caracterización de los productos líquidos obtenidos mediante la determinación de sus propiedades fisicoquímicas como combustibles líquidos.

La presente investigación realizará la co-pirólisis a escala de laboratorio de residuos de guantes de látex y guantes de nitrilo generados en la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería, para lo cual se cuantificará la cantidad de residuos generados y se establecerá la carga de pirólisis en base a dicha composición. Asimismo, se caracterizará los productos líquidos obtenidos como combustibles líquidos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Muestra de residuos de guantes desechables

Se tomó como muestra los residuos de guantes desechables de látex y nitrilo generados por los estudiantes en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica. Para lo cual se realizó el proceso de recolección durante ocho semanas del periodo académico 2023-1. Para facilitar la recolección de guantes desechables utilizados se adquirieron 5 tachos recolectores de color rojo los cuales fueron ubicados en cada uno de los laboratorios de la facultad junto a letreros de señalización indicando los puntos de recolección de residuos de guantes. En la figura 1 se observa los tachos recolectores y los letreros de señalización usados para la recolección.

### B. Pretratamiento de la muestra de residuos de guantes desechables

Como parte de la investigación se realizó la recolección semanal de los residuos de guantes de los tachos recolectores, posteriormente se realizaba el pretratamiento de los residuos recolectados, el cual consistía en un proceso de secado

realizado en una estufa eléctrica a una temperatura de 110 °C durante aproximadamente 2 horas y 30 minutos.



Fig. 1 Letreros de señalización (izquierda) y tachos de recolectores (derecha) usados para la recolección de residuos de guantes desechables

### C. Caracterización de la muestra residuos de guantes desechables

Posterior al pretratamiento se realizó la clasificación y pesado de los residuos de guantes pretratados, con lo cual se determinó la composición en masa de residuos de guantes desechables generados.

Asimismo, se realizó el Análisis termogravimétrico (TGA) de la muestra de residuos de guantes desechables, para lo cual se utilizó una balanza termogravimétrica modelo TGA 4000 de la Marca Perkin Elmer. Este análisis proporcionó una referencia de la temperatura de operación de co-pirólisis para los experimentos a escala de laboratorio.

### D. Procesos de co-pirólisis de residuos de guantes desechables

La co-pirólisis de los residuos de guantes desechables se llevó a cabo en un reactor tubular vertical de acero inoxidable a escala de laboratorio, con un diámetro de 2 pulgadas y 60 centímetros de longitud, la muestra de 75 g aprox. de residuos de guantes desechables fue colocada en el fondo del reactor luego de ser pretratada. El horno era llevado a una temperatura de 600 °C para la realización del experimento, el oxígeno y los vapores generados ubicados dentro del reactor eran removidos con uso de una bomba de vacío a una presión de 0.35 bar y eran llevados a un sistema de condensación que se encontraba a 0°C aprox. Lo gases que condensables eran recolectados en recipientes colectores en el sistema de condensación y los gases incondensables eran liberados mediante un sistema de venteo. El esquema del equipo de pirólisis se observa en la fig. 2 [13]. Luego de los experimentos se calculó el rendimiento de cada uno de los productos obtenidos en la reacción (líquidos, sólidos y gaseosos).

### E. Caracterización de productos líquidos obtenidos de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables

Los productos líquidos obtenidos de los experimentos de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables fueron acumulados hasta acumular un total de 150 mL para posteriormente ser caracterizados como combustibles líquidos,

por lo cual se realizó el ensayo de destilación a 760 mmHg (ASTM D86) para la determinación de los resultados (curva de destilación), además se determinó la densidad y la gravedad API con ayuda de un picnómetro y material de vidrio (no normalizado), viscosidad cinemática (ASTM D445) y el punto de escurrimiento (ASTM D97).

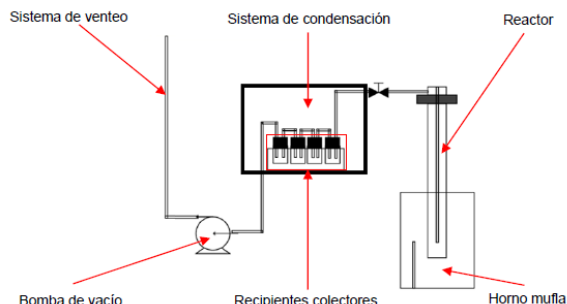


Fig. 2 Diagrama de equipo de pirólisis Fuente: [13]

Con los resultados experimentales de la destilación a 760 mmHg obtenidos por el método ASTM D86, se realizó el modelamiento y la simulación de una corriente de combustibles líquidos obtenidos a partir de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables usando el simulador de Procesos DWSIM (software libre).

Se utilizó el utilitario disponible en DWSIM para estimar las propiedades flujo en frío (en inglés *Could Flow Properties*) de la corriente de combustible líquido de co-pirólisis de residuos de guantes desechables modelada y simulada, las propiedades de flujo en frío estimadas fueron el punto de índice de cetano, la presión de vapor Reid y el punto de congelamiento. Así también se utilizó el complemento de calculadora de calor de combustión para determinar el poder calorífico de la corriente de combustible líquido [14].

## III. RESULTADOS

### A. Resultados de la caracterización de residuos de guantes desechables

Del sistema de recolección propuesto se recolectaban semanalmente los residuos de guantes desechables, la recolección se realizó durante ocho semanas donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla II.

TABLA II CANTIDAD DE RESIDUOS DE GUANTES DESECHABLES RECOLECTADOS

Cantidad de residuos de guantes desechables	Tipos de guantes	
	Látex	Nitrilo
Unidades	644	242

De la tabla II se observa que en total se recolectaron 644 guantes de látex y 242 guantes de nitrilo el cual da un total de 886 residuos de guantes desechables durante el periodo de recolección. Posteriormente se realizó el pretratamiento y se pesaron todos los residuos de guantes desechables, en la tabla

III se detallan las características de las muestras de los residuos de guantes desechables pretratadas.

**TABLA III**  
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DE RESIDUOS DE GUANTES DESECHABLES PRETRATADA

Características de la Muestra	Tipos de guantes	
	Látex	Nitrilo
Cantidad de muestra (unidades)	644	242
Masa promedio por unidad (g)	5.03	4.53
Masa total de muestra (g)	3239.32	1096.26
Composición másica (%masa)	75%	25%

De la tabla III se observa que composición másica de la muestra de residuos de guantes de látex y guantes de nitrilo es 75% y 25% respectivamente. Por lo tanto, se tomará en cuenta esta composición para realizar la carga de la muestra de residuos en el reactor para el proceso de pirólisis.

Adicionalmente se realizó el análisis termogravimétrico de la muestra, en la fig. 3 se presenta el termograma de la muestra de residuos de guantes desechables. Donde se observa que la descomposición de la muestra se da hasta los 600°C, por lo que se toma a esta como la temperatura de operación para el proceso de co-pirólisis a escala de laboratorio.

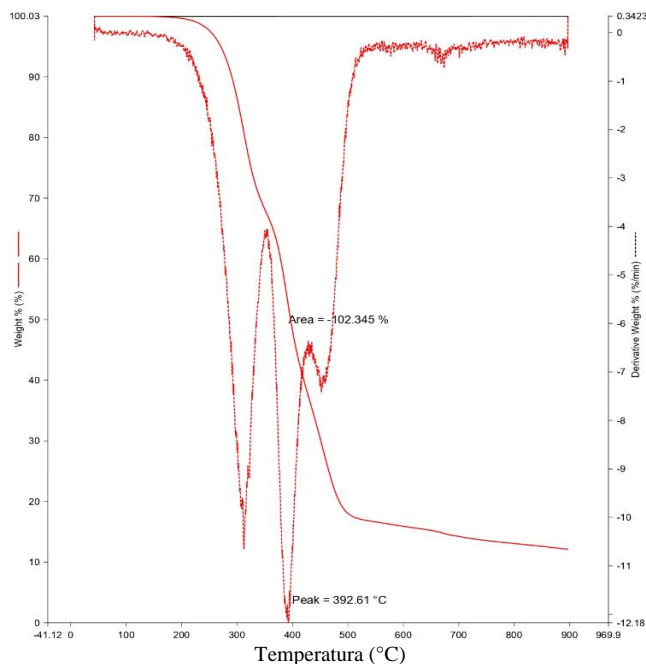


Fig. 3 Termograma de muestra de residuos de guantes desechables

### B. Resultados de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables

Luego del proceso de co-pirólisis se determinó el rendimiento de los productos obtenidos, en la tabla IV se muestra los resultados del rendimiento promedio de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables.

De la tabla IV se observa que el rendimiento de productos líquidos es el más abundante con un 43.3%.

**TABLA IV**  
RESULTADOS DEL RENDIMIENTO PROMEDIO DE LA CO-PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE GUANTES DESECHABLES

Tipo de productos	Rendimiento (% masa)
Productos líquidos	43.3
Productos sólidos	26.1
Productos gaseosos	30.6
Total	100

### C. Resultados de la caracterización de combustibles líquidos obtenidos de la co-pirólisis de los residuos de guantes desechables

Para la caracterización de los productos líquidos de la co-pirólisis de los guantes desechables se determinó la destilación a 760 mmHg por el método ASTM D86, en la tabla IV se observa los resultados de la destilación ASTM D86.

Con los resultados obtenidos en la tabla V se puede generar la curva de destilación ASTM, en la Fig. 4 se observa la curva de destilación ASTM de los combustibles líquidos obtenidos a partir de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables.

**TABLA V**  
RESULTADOS DE LA DESTILACIÓN A 760 MMHG POR EL MÉTODO ASTM D86

Volumen recuperado (%vol.)	Temperatura(°C)
0	122
5	147
10	167
15	183
20	196
25	208
30	221
35	235
40	248
45	261
50	272
55	280
60	291
65	299
70	307
75	312
80	316
85	320
90	325
95	329

También se determinaron algunas propiedades fisicoquímicas de manera experimental y mediante el uso del simulador de procesos DWSIM, se modeló y simuló una corriente de los combustibles líquidos obtenidos de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables para la estimación de propiedades fisicoquímicas, en la tabla VI se observan los resultados de las propiedades fisicoquímicas de los combustibles líquidos obtenidos.

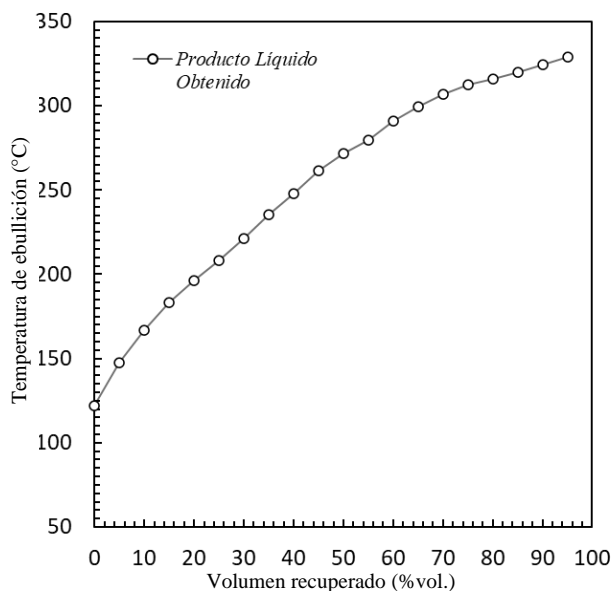


Fig. 4 Curva de destilación ASTM de los combustibles líquidos obtenidos a partir de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables

TABLA VI

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS OBTENIDOS DE LA CO-PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE GUANTES DESECHABLES

Propiedades	Métodos	Resultados
Gravedad API (°API)	No normalizado	29.0
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	No normalizado	880
Viscosidad cinemática (cSt)	ASTM D445	2.028
Punto de escurrimiento (°C)	ASTM D97	<17
Presión de Vapor Reid (psi)	Estimado por DWSIM	0.22
Punto de Congelación (°C)	Estimado por DWSIM	-30.66
Índice de Cetano	Estimado por DWSIM	53.9
Poder calorífico bruto (MJ/kg)	Estimado por DWSIM	45.9

#### IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### A. Discusión de los resultados de la caracterización de combustibles líquidos obtenidos de la co-pirólisis de los residuos de guantes desechables

De los resultados mostrados en la tabla IV y la fig. 4, se compara la curva de destilación del producto líquido obtenido con la del combustible de aviación, Diesel B5 S-50 y la del gasohol. En la fig. 5 observa la discusión de las curvas de destilación del producto líquido obtenido de la co-pirólisis frente a combustibles comerciales

De la figura 5 se observa que entre el 35 % y el 70 % de destilación, se ve una similitud entre la curva del Diesel B5 S-50 y la de nuestro producto. Por esta razón, se considera al Diesel B5 S-50 para realizar la discusión de propiedades fisicoquímicas.

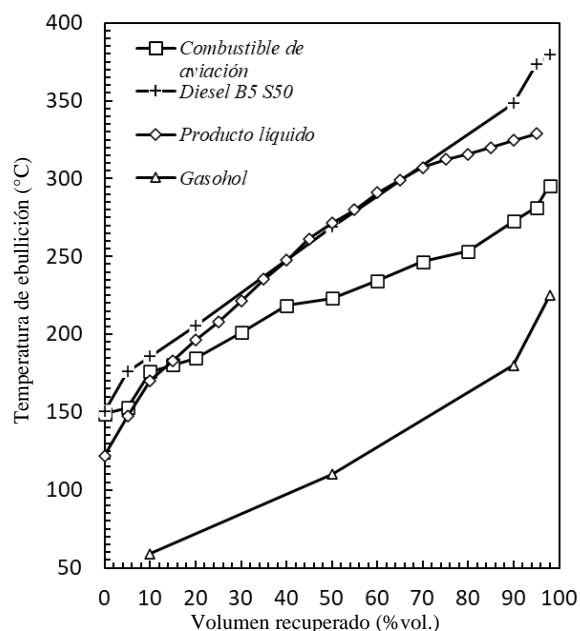


Fig. 5 Discusión de la curva de destilación ASTM del producto líquido obtenido a partir de la co-pirólisis de residuos de guantes desechables

Además, de los resultados mostrados en la tabla V se observa que el combustible líquido obtenido presenta una presión de vapor Reid muy baja, por lo que se descarta que tenga características similares a un gasohol. Por lo que se realiza la discusión de resultados de las propiedades fisicoquímicas con las especificaciones técnicas de calidad del diésel B5 S-50 establecidas en Decreto Supremo N°092-2009-EM y su fe de erratas [15].

En la tabla VII se observa la discusión de resultados de las propiedades fisicoquímicas del producto líquido obtenido frente al Diesel B5 S-50.

De la tabla VII, se determina que las propiedades fisicoquímicas de 90% de recuperado de la destilación a 760 mmHg, índice de cetano y viscosidad cinemática a 40 °C cumplen con los parámetros establecidos por el DS N°092-2009-EM y su fe de erratas para las especificaciones técnicas de calidad del diésel B5 S-50.

#### CONCLUSIONES

Durante el periodo de 8 semanas de toma de muestras, se llevó a cabo la recolección de un total de 886 unidades de guantes desechables. En el proceso de conteo para determinar la composición global, se determinó que el 75 % de los guantes desechables recogidos estaban hechos de látex, mientras que el 25 % estaban fabricados con nitrilo.

El proceso de co-pirólisis se realizó bajo condiciones controladas, con una temperatura constante de 600 °C y una presión de 0.35 bar. Estas variables operativas se mantuvieron estables a lo largo de los experimentos realizados. Después de llevar a cabo los experimentos, se obtuvo un rendimiento promedio de producto líquido del 43.34%.

Las propiedades fisicoquímicas del producto líquido obtenido de la co-pirólisis de residuos guantes desechables fue



discutido frente a las especificaciones técnicas de calidad del Diesel B5 S-50 según lo establecido en el DS-092-2009-EM y su Fe de Erratas, y se concluye que el producto líquido posee características similares al Diesel B5 S-50 el cual es uno de los combustibles comerciales más usados en el mercado peruano.

TABLA VII

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS OBTENIDOS DE LA CO-PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE GUANTES DESECHABLES

Propiedades	Método de Ensayo	Resultados	Especificaciones técnicas de calidad del Diesel B5 S-50	
			Resultado Min.	Resultado Max.
Destilación a 760 mmHg	ASTM D86			
	Punto inicial (°C)	122		
	10% vol. (°C)	170	-	-
	20% vol. (°C)	196	-	-
	30% vol. (°C)	221	-	-
	40% vol. (°C)	248	-	-
	50% vol. (°C)	272	-	-
	60% vol. (°C)	291	-	-
	70% vol. (°C)	307	-	-
	80% vol. (°C)	316	-	-
	90% vol. (°C)	325	282	360
	95% vol. (°C)	329	-	-
	Punto final (°C)	329		
	Recuperado (%vol)	95		
	Residuo (%vol)	2		
	Perdida (%vol)	3		
Gravedad API (°API)	No normalizado	28.95	Reportar	-
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	No normalizado	880	-	-
Índice de Cetano	Estimado por DWSIM	54	40	-
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	Estimado por DWSIM	45.9	-	-
Viscosidad cinemática a 40°C (cSt)	ASTM D445	2.03	1.9	4.5

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos y Energéticos, y al Laboratorio de Normalización de Petróleo y Derivados de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica (FIP) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por su apoyo intelectual y por facilitar sus instalaciones para los experimentos. También agradecemos a la Unidad de

Investigación de la FIP y al Vicerrectorado de Investigación de la UNI por financiar el proyecto 30-2024-003358 y subvencionar nuestra participación en el LACCEI 2024.

#### REFERENCIAS

- [1] V. V. Rajan, W. K. Dierkes, R. Joseph, and J. W. M. Noordermeer, "Science and technology of rubber reclamation with special attention to NR based waste latex products," *Progress in Polymer Science*, vol. 31, no. 9, pp. 811–834, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2006.08.003>
- [2] Organización Mundial de la Salud, "Safe management of wastes from health-care activities," 2nd ed. Geneva, Switzerland: OMS, 2000.
- [3] S. Seidelt, M. Müller-Hagedorn, and H. Bockhorn, "Description of tire pyrolysis by thermal degradation behaviour of main components," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 75, no. 1, pp. 11–18, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2005.03.002>
- [4] S. Sharma and A. K. Ghoshal, "Study of kinetics of co-pyrolysis of coal and waste LDPE blends under argon atmosphere," *Fuel*, vol. 89, no. 12, pp. 3943–3951, Dec. 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2010.06.033>
- [5] W. Kwapinski et al., "Biochar from biomass and waste," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 1, no. 2, pp. 177–189, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/S12649-010-9024-8>
- [6] Mahbubani, R., "US medical workers will need 3.5 billion face masks if the coronavirus reaches pandemic status," *Business Insider*, 2020. [Online]. Available: <https://www.pulse.ng/bi/politics/us-medical-workers-will-need-35-billion-face-masks-if-the-coronavirus-reaches/r6wsxqk>
- [7] S. Adhikari, H. Nam, J. P. Chakraborty, "Chapter 8 - Conversion of Solid Wastes to Fuels and Chemicals Through Pyrolysis," en *Waste Biorefinery*, editado por T. Bhaskar, A. Pandey, S. Venkata Mohan, D.-J. Lee, S. K. Khanal, Elsevier, 2018, pp. 239–263. DOI: 10.1016/B978-0-444-63992-9.00008-2.
- [8] L. Cutilas-Barreiro, L. Ansias-Manso, D. Fernández-Calviño, M. Arias-Estévez, J. C. Nóvoa-Muñoz, M. J. Fernández-Sanjurjo, E. Álvarez-Rodríguez, y A. Núñez-Delgado, "Pine bark as bio-adsorbent for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn: Batch-type and stirred flow chamber experiments," *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 144, pp. 258–264, 2014.
- [9] W. J. Hall, N. Zakaria, y P. T. Williams, "Pyrolysis of latex gloves in the presence of Y-zeolite," *Waste Management*, vol. 29, no. 2, pp. 797–803, 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2008.06.031>
- [10] N. Zakaria, F.N. Ani, M.N.M. Yunus, y M.A.S. Husain, "Oxidative pyrolysis of examination rubber gloves in the integral pyrolysis test plant," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2011.
- [11] J. Wang y H. Zhao, "Thermogravimetric analysis of rubber glove pyrolysis by different Iso-conversional methods," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 6, no. 4, pp. 527–533, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/S12649-015-9372-5>
- [12] Assefa, M., Kim, H.-G., Park, S.-H., & Hwang, S.-Y. (2021). "Thermal degradation of polymeric materials from COVID-19 protective equipment by pyrolysis for energy recovery." *Journal of Hazardous Materials*, vol. 418, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126231.
- [13] W. Ramos, J. Nahui-Ortiz, R. Erazo, y V. Pretell, "Pirólisis catalítica de cubrebocas de polipropileno desechables para la obtención de combustibles líquidos," *Información Tecnológica*, vol. 34, no. 1, pp. 1–10, 2023. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000100001>
- [14] D. Medeiros, DWSIM – The Open Source Chemical Process Simulator, no. November. 2022. [Online]. Available: <https://dwsim.org/index.php/about/>
- [15] MINEM, "DS-092-2009-EM," 2009. [http://www.minem.gob.pe/\\_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=3033](http://www.minem.gob.pe/_legislacion.php?idSector=10&idLegislacion=3033)