

PRUEBAS DE DESEMPEÑO EN MOTOR DIESEL UTILIZANDO ACEITE DE PESCADO REFINADO COMO COMUSTIBLE

Páez G. Luis F.
Ingeniería Mecánica
Universidad de Ibagué
paezfelipe05@hotmail.com

Resumen— Este proyecto se realiza con el fin de producir un biocombustible a partir del aceite crudo de pescado, el cual será denominado RBD, para que pueda ser usado como sustituto del diésel comercial, y disminuir los impactos ambientales negativos de los desechos que produce la actividad pesquera regional, así como las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles. Su ejecución se divide en cuatro fases metodológicas que son: i) la recolección y refinamiento de la materia prima (aceite crudo), ii) su posterior caracterización según la norma ASTM D6751- 0, para realizar las pruebas de desempeño en motores de combustión interna, iii) un análisis de los resultados de dichas pruebas, que se realizaron en una planta eléctrica Lister de propiedad de la Universidad de Ibagué usando mezclas de 10% 30% y 50% de aceite RBD con diésel comercial, y iv) la comparación del desempeño con el obtenido utilizando otros combustibles (diésel comercial, biodiesel). Obteniendo como resultado que las muestras más bajas del biocombustible elaborado (RBD30 e inferiores) son óptimas para ser empleadas en motores estacionarios, ya que cumplen con los parámetros dados por la normatividad. La investigación permite concluir que el uso de la mezcla de combustible ayuda progresivamente a la disminución de agentes contaminantes a medida que aumenta la cantidad de aceite refinado. Sin embargo, también disminuye en porcentajes mínimos la potencia y torque del motor, y el consumo de combustible registra un ligero aumento comparado con las dos alternativas.

Palabras clave— Aceite crudo, Refinamiento, caracterización, pruebas de rendimiento, Planta Lister.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de energías alternativas ha visto un reciente crecimiento, debido al interés de reducir la huella de carbono y el impacto ambiental generado por la demanda energética a nivel mundial que cada vez es más grande, muchos procesos y equipos hacen uso de combustibles fósiles como el gas natural y derivados del petróleo, los cuales producen gases contaminantes que se disparan al ambiente. Además, a medida que se queman más combustibles fósiles estos se van agotando por ser de una fuente no renovable, es por esto que se necesitan nuevos combustibles como el biodiesel, biomasa, biogás, que sean renovables y a su vez más amigables con el medio ambiente.

El biocombustible líquido puede producirse a partir de cualquier sustancia que sea oleaginosa, una de las más comunes utilizadas para este fin es el aceite de palma [1], pero dada la poca disponibilidad de esta materia prima en el departamento del Tolima, y en cambio teniendo en cuenta que una fortaleza de la región está en la industria piscícola, se ha llegado a la conclusión de que la fuente más óptima para producir este combustible es el aceite crudo de pescado.

Dicho aceite es obtenido por el calentamiento de residuos pesqueros

(vísceras del pescado), las cuales en el Tolima están alrededor de las 230 toneladas anuales [2], residuos que no se manejan correctamente sino que son arrojados directamente en las fuentes de agua. Se pretende entonces realizar una refinación y tratamiento de esta materia prima hasta conseguir un aceite óptimo para utilizarse en motores de combustión interna de encendido por compresión (Planta eléctrica Lister -serie TR3).

Así mismo, es importante determinar la eficiencia que alcanza el combustible producido, durante la realización de pruebas de desempeño en dicho motor, midiendo las máximas revoluciones, la máxima potencia, el máximo torque alcanzado al trabajar con este biocombustible además de la opacidad de los gases arrojados a la atmósfera.

II. METODOLOGIA

a. Selección de materias primas

Inicialmente se dispone de cuatro Galones de aceite crudo producto del calentamiento de vísceras de pescado (ACP), cuyas características se pueden ver en la tabla 1. Las cuales fueron recolectadas directamente en su lugar de origen, haciendas de la asociación piscícola Asopiscinorte.

Tabla 1. Propiedades de la muestra de ACP.

PRODUCTO	
Aceite extraído de vísceras de pescado	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (PROM)	
Densidad a 27°C ($\frac{g}{ml}$)	1,0037
Viscosidad a 40°C (cP)	57,23
Punto de Nube (°C)	12,67
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (PROM)	
Índice de Acidez	6,95
HHV	-

Fuente: [3]

El alcohol seleccionado para el tratamiento del aceite es **Etanol** con un 96% de pureza, debido a su baja toxicidad e inflamabilidad frente a otros como el Metanol, y fácil adquisición en la región.

b. Proceso RBD

Este proceso consta de un Refinado, Blanqueado y Desodorización que se le realiza al aceite para que sus características sean más cercanas a la norma que rige los aceites combustibles y biocombustibles [4]. En primera instancia, se realiza un filtrado al aceite para remover impurezas que pudieran quedar del proceso de recolección. Un desgomado se realiza para evacuar fosfolípidos más difícilmente extraíbles que el filtrado previo no consiguiera.

Se utiliza **ácido fosfórico**(H_3PO_4) en un 1% de la muestra de aceite y se mezcla en plancha de agitación por 30 minutos con calentamiento entre 70 y 80 °C. Enseguida se pone la mezcla en un embudo de decantación, como se ve en la figura 1, hasta que se separe en 2 fases, y se realiza un lavado y secado para retirar las gomas de la parte inferior.



Fig 1. Separación de Gomas

El Blanqueado y Desodorizado se realiza mediante el empleo de arcillas adsorbentes como la Tonsil Optimum, que son activadas químicamente para retener pigmentos y aromáticos no deseados. [5] Se utiliza a razón del 3% de la muestra de aceite con el mismo procedimiento, agitación por 20 minutos a una temperatura de 95°, y posterior decantación. El resultante del proceso es un aceite más claro y con viscosidad y densidad menores.

Aun así, el índice de acidez sigue siendo alto por lo que es necesario realizar un proceso adicional de transesterificación ácida para la disminución del %AGL. Se usa etanol en relación 12:1 (p/p) y se agrega **ácido sulfúrico** (H_2SO_4) como catalizador, en proporciones entre 0,5 -3% en volumen con relación a la cantidad de aceite a neutralizar.



Fig 2. Separación Transesterificación Ácida

Se repite el calentamiento y agitación con la mezcla por 30 minutos a 70 °C, luego se separa en embudo de decantación, como se ve en la figura 2, y al cabo de 12 horas son claras las 2 capas, de las cuales la superior es el aceite esterificado y la inferior los residuos de alcohol y glicerol que deben ser evacuados mediante un lavado y secado.

c. Caracterización del Aceite RBD

Luego del proceso de Refinado y transesterificación ácida se encontraron propiedades más cercanas a las indicadas por la norma internacional, la cual se puede ver en la tabla 2.

Siendo medidas para la caracterización física: la densidad (bajo la NTC 5708), la viscosidad (ASTM D 6751-07) y el punto de Nube (ASTM D2500). Y para la caracterización química el índice de acidez (bajo el estándar ASTM D974) y el poder calorífico con ayuda de una bomba calorimétrica y según el procedimiento dado por el fabricante.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los biocombustibles

Propiedades físico- químicas	Unidad	Biodiesel		Diésel
		Norma Europea (14214)	Norma estadounidense (ASTM D6751-07)	
Viscosidad (40°C)	mm ² /s	3,5-5,0	1,9-6,0	3,0-4,5
Punto de Nube	°C	Reportar	Reportar	No tiene
Poder Calorífico	Kg / Cal	9500	-----	10800
Densidad (15°)	g / cm ³	0,86 - 0,90	-----	0,80-0,84
Composición del combustible		Ester metílicos de ácidos grasos C12 - C22	Ester metílicos de ácidos grasos C12 - C22	Hidrocarburo C10 - C21

Fuente: [4]

Por consiguiente, es necesario trabajar con mezclas del biocombustible con diésel comercial, procurando que estas no superen el 50% para que no alteren demasiado las propiedades fisicoquímicas requeridas.

d. Procedimiento para las pruebas en planta.

Las pruebas se realizaron en la Planta eléctrica Lister TR3, motor estacionario de propiedad de la universidad de Ibagué, el cual se puede ver en la figura 3, utilizando mezclas de RBD 10%, 30% y 50%.

Se realiza con cada uno una prueba de tres minutos para tres velocidades, en ralentí (1000 rpm), en un punto medio (alrededor de 1500 rpm), y al máximo de operación del motor (2000 rpm).



Fig 3. Planta Lister

Los valores medidos fueron el de Torque, Potencia (HP) y RPM, utilizando el dinamómetro Dynamite [6], que también puede verse en la figura 3, acoplado a la planta eléctrica. Y además se tomó la medida de la opacidad de los gases de escape, con ayuda del Opacímetro Diesel [7], el cual se puede ver en la Figura 4.



Fig 4. Opacímetro para Emisiones Diésel

Al término de cada prueba con una mezcla de Diesel/RBD, es aconsejable trabajar el motor con diésel comercial por unos minutos para eliminar rastros de la mezcla anterior.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Características físicas

1. Densidad

La densidad es calculada para cuatro muestras haciendo uso de un picnómetro, lo que arroja los resultados presentados en la tabla 3:

Tabla 3. Medición Densidad del RBD

Aceite	Densidad (g/ml)
Muestra 1	1,0024
Muestra 2	0,991
Muestra 3	0,985
Muestra 4	1,001

Fuente: Autor

De acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 5708, el biocombustible debe tener una densidad en el rango entre 0,86 y 0,91 g/ml. Sin embargo, para las muestras de aceite RBD esta estuvo por encima del máximo, con un promedio de **0,994 g/ml**.

Aun así, por ser un valor tan cercano se considera como una diferencia mínima que no causaría mayores problemas si se utiliza como mezcla de combustible con diésel comercial.

2. Viscosidad

La viscosidad fue analizada con ayuda de un viscosímetro marca Brookfield, con aguja #1, para las diferentes muestras y los resultados se presentan en la tabla 4:

Tabla 3. Medición Viscosidad del RBD

Aceite	Viscosidad A 40°C (cSt)
Muestra 1	14,08
Muestra 2	14,56
Muestra 3	13,87
Muestra 4	15,01

Fuente: Autor

La norma EN14214 establece que el límite para la viscosidad del biocombustible debe ser de 5 cSt (a 40 °C), mientras que los resultados obtenidos en la medición del aceite refinado triplican este valor, encontrándose en promedio a **14,37 cSt**.

No obstante, esto no implica que no pueda ser utilizado ya que el realizar mezclas con diésel mejora la fluidez. Así mismo queda la opción de ser utilizado en la producción de biodiesel pues esta propiedad presenta una tendencia a disminuir durante los procesos de esterificación y transesterificación.

3. Punto de nube

Se realiza la medición del punto de nube según la norma ASTM D2500, para las distintas muestras de aceite, lo que arroja los resultados que se muestran en la tabla 4.

Se tiene entonces que en promedio el aceite RBD se empieza a cristalizar por debajo de los **9,8 °C**. Este dato es importante si se tiene en cuenta que el punto de nube es una variable que restringe el lugar donde se puede utilizar el combustible.

Tabla 4. Medición Punto de Nube del RBD

Aceite	Punto de nube (°C)
Muestra 1	10,8
Muestra 2	8,7
Muestra 3	9,5
Muestra 4	10,0

Fuente: Autor

Ya que el aceite presenta valores de punto de nube menores a 11 °C implica que el aceite puede ser usado para trabajo en climas cálidos (como la región del Tolima), siempre que se garantice un almacenamiento adecuado.

b. Características químicas

1. Índice de acidez

Los resultados muestran una disminución en el contenido de ácidos grasos libres de la muestra, como se puede ver en la tabla 5. En comparación al alto índice que poseía inicialmente.

Tabla 5. Medición índice de acidez

Aceite	IA
Muestra 1	5,52
Muestra 2	5,43
Muestra 3	4,91
Muestra 4	5,64

Fuente: Autor

Esto comparado con la literatura nos indica que el promedio de **5,37** obtenido está cerca del rango de 5% que se requiere para operación en motores estacionarios. Sin embargo, para motores de alta velocidad se requiere una acidez menor al 2% por lo que el aceite RBD por sí solo no lograría cumplir el requerimiento. Requiriendo de un proceso adicional de transesterificación alcalina, o el uso en mezcla de combustible.

2. Poder Calorífico

Se realiza con la ayuda de una bomba calorimétrica Parr, de donde se obtienen los datos de la tabla 6.

Tabla 6. Medición índice de acidez

ACEITE	HHV (cal/g)
Muestra 1	10523,5
Muestra 2	10606,4
Muestra 3	11081,2
Muestra 4	10501,3

Fuente: Autor

Estos valores están dentro del rango establecido por la norma EN 14214, que establece un HHV de 10800 cal/g para el diésel comercial y cercano a 10000 cal/g para el biodiesel.

Siendo el promedio de la medición de **10680 cal/g**, por lo que al ser este similar al valor del diésel comercial, se garantiza que la combustión será eficiente.

c. Pruebas en Planta

Las pruebas con cada mezcla de aceite refinado y diésel comercial, para las 3 velocidades probadas, evidenciaron en primera instancia que el uso del biocombustible disminuye considerablemente los valores de opacidad en los gases de combustión. Siendo los del R10 similares al diésel, y los del R30 un 10 a 14% menores, presentando finalmente para el R50 una reducción de hasta el 22% respecto de la evidenciada con el diésel comercial.

Del mismo modo, se evidencia una ligera disminución en los valores de Torque y Potencia a medida que aumenta el porcentaje de RBD en la mezcla. Mientras que el consumo de combustible si tiene un incremento progresivo con respecto al diésel, como se puede ver en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7. Pruebas en Planta Lister (1/3)

	A 1000 RPM			
	POTENCIA	TORQUE	CONSUMO	OPACIDAD
DIESEL	7,71	3140	1,02	97,4
RBD 10	6,01	2680	1,04	93,3
RBD 30	5,3	1347	1,07	87,4
RBD 50	4,9	1250	1,08	76,9

Fuente: Autor

Tabla 8. Pruebas en Planta Lister (2/3)

	A 1500 RPM			
	POTENCIA	TORQUE	CONSUMO	OPACIDAD
DIESEL	14,7	2855	1,39	98,5
RBD 10	12,05	2650	1,43	95,0
RBD 30	9,1	1650	1,46	88,8
RBD 50	8,2	1800	1,57	78,5

Fuente: Autor

Tabla 9. Pruebas en Planta Lister (3/3)

	A 2000 RPM			
	POTENCIA	TORQUE	CONSUMO	OPACIDAD
DIESEL	21,3	3807	1,67	99,9
RBD 10	19,7	3410	1,72	96,8
RBD 30	15,26	2340	1,75	90,2
RBD 50	14,2	2196	1,86	80,6

Fuente: Autor

De igual forma este desempeño debe compararse con el obtenido para pruebas similares utilizando mezclas de biodiesel, para tener una mejor base de cual combustible sería el más apropiado para ser utilizado.

Los datos para dicha comparación se relacionan en la tabla 10, de donde se puede observar que, a máximas velocidades de operación la mezcla que entrega el mejor rendimiento es la del R30, presentando valores de potencia y torque incluso mejores que las del biodiesel.

En cuanto a reducción de la opacidad (una de las razones por las que se realiza el presente trabajo) mejora con respecto al R10 y el diésel comercial, sin embargo, es menos eficaz que el Biodiesel. El rendimiento calculado si es menor, por lo cual el consumo de combustible con el aceite refinado sigue siendo más alto que si se usara alguna de las 2 alternativas.

Aunque el R50 logró una mejor reducción de partículas en el gas de escape, para este la potencia ya es muy baja y el consumo sigue siendo muy alto, además del comportamiento heterogéneo de la mezcla. La prueba con el R30 no genera inestabilidad en el motor, por lo cual es viable su implementación como combustible.

Tabla 10. Comparación de Combustibles a máximas rpm

PRUEBA [a 2000 RPM]	DIESEL	Mezcla Aceite		Mezcla Biodiesel	
		RBD 30	RBD 50	B 30	B 50
Potencia (HP)	21,3	15,26	14,2	15,21	14,7
Torque (lb-ft)	3807	2340	2196	2315,3	2297,6
Opacidad (%)	99,9	90,2	80,6	89,0	80,3
Consumo (g/s)	1,02	1,746	1,86	1,73	1,75
Rendimiento	88,37	72,73	72,66	83,0	81,3

Fuente: Autor

IV. CONCLUSIONES

Se encuentra que las características fisicoquímicas del combustible RBD por si solo se quedan fuera del rango óptimo para trabajo en motores diésel, en el caso de la acidez (estacionarios, <5 – alta velocidad, <2) y la viscosidad que fue de 14,37 cSt en promedio (menor a 6 según el estándar americano). Para que cumpla con este requerimiento puede utilizarse en mezclas con diésel comercial o bien, hacer un proceso de transesterificación alcalina para convertirlo en biodiesel.

En cuanto al punto de nube (9,78 °C), presenta un buen potencial para el trabajo en la región por ser de clima cálido. Debe controlarse las condiciones de almacenamiento en recipientes cerrados y fuera del alcance de los rayos del sol. También un tiempo excesivo puede aumentar la oxidación del aceite disparando el índice de acidez

El aceite tenía inicialmente un porcentaje de AGL alrededor del 15% que se logró reducir hasta en promedio 5,37% mediante la transesterificación ácida. La densidad y viscosidad también se lograron reducir con el refinado hasta un valor más cercano al aceptado por la norma. Esta última teniendo una disminución al final de hasta 74,9%

Las mezclas de aceite refinado demuestran ser un sustituto decente para el diésel en cuanto a desempeño en el motor estacionario, ya que con el RBD10 el torque y la potencia del motor no se alteran significativamente. Se encuentra que a mayor cantidad de aceite RBD en la mezcla se evidencia un ligero aumento en el consumo de combustible cerca de un 6% respecto a la concentración anterior. Caso contrario a la opacidad que va disminuyendo entre mayor sea el porcentaje de aceite refinado.

Para la prueba a máxima velocidad, el RBD 30 presentó valores de potencia y torque incluso mejores que las de la mezcla de biodiesel en el mismo porcentaje; sin embargo, el biodiesel sigue siendo más efectivo para disminuir la opacidad de gases nocivos de combustión y rendimiento del combustible. Aunque el RBD50 logró una mejor reducción de la opacidad en el gas de escape, para este la potencia ya es muy baja (9 HP promedio) y el rendimiento es menor al de cualquiera de las 2 alternativas (72,6%), además del comportamiento heterogéneo de la mezcla. La mejor opción se concluye ser, el uso del combustible RBD 30 para trabajo regional en motores estacionarios.

V. REFERENCIAS

- [1] P.Castro, J.Coello y L.Castillo, Opciones para la producción de biodiésel en el Perú, Lima, 2007.
- [2] B. Roca-Lanao, C. Polania Rivera y L. Manjarres Martínez, «Caracterización de granjas y evaluación de la producción de acuicultura en Colombia durante el año 2016,» 2016.
- [3] A. D. Torres Cortes, "Diseño e implementación de un sistema de producción de Biodiesel a partir de los residuos de la industria piscícola". Fase 2: caracterización del aceite de pescado, Ibagué, 2017.
- [4] ASTM International, ASTM establece las normas para el biodiésel, 2009.
- [5] F. Corvetto, Conceptos Básicos y optimización del proceso de Blanqueo.
- [6] Land & Sea, Inc., Dynamite Water Brakes.
- [7] QROTECH CO, LTD., Diesel Opacimeter (OPA-102).