

## Research

**Analysis of Power and Torque Performance of a Diesel Engine Operating with Palm Biodiesel Blends***Análisis del desempeño de la potencia y el torque de un motor diésel operando con mezclas de biodiésel de palma***Daniel Andrey Herrera Susa<sup>1</sup>, José Ricardo Bermúdez Santaella<sup>2</sup>, Carlos Eduardo Castilla Álvarez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Francisco de Paula Santander (Cúcuta-Colombia), <sup>2</sup>Centro de Tecnología de Mobilidade (CTM-UFMG), <sup>3</sup>Universidad Federal de Lavras, Brasil.  
correspondence e-mail: danielandreyhs@ufps.edu.co

Recibido: 06/12/2019. Modificado: 06/07/2020. Aceptado: 11/08/2020.

**Abstract**

**Context:** There is a trend in modern society that is based especially on the development of new bio-fuels, specifically oriented towards the field of internal combustion engines, establishing the loss of their thermal performance as a central point. This is one of the main challenges, where research is dynamized in a complex and important way. In this context, this research strengthens this area of knowledge and determines the performance behavior of a single-cylinder engine ignited by compression with mixtures between conventional diesel and biodiesel produced with innovative techniques.

**Method:** In this work, an analysis was made in a test bench for Diesel internal combustion engines, where the efficiency of the engine was characterized and determined, using Diesel and different mixtures such as B2, B5, B10, B20, B50 and B100, whose number determines the percentage of biodiesel in the mixture. The employed biodiesel was based on African palm oil and was obtained by means of microwave radiation technology. These tests were performed using the SAE J1349 standard. Data collection of factors such as power, torque, fuel consumption, and temperature, indicated engine performance, which in turn determined the effects of the different fuels under study.

**Results:** During the development of the tests and their analysis, it was evidenced that, for all the analyzed mixtures, combustion took place without complications. Additionally, when the percentage of biofuel in the mixture, fuel consumption reported increases greater or equal to 20 %, as well as power losses in the range of 40 %. Therefore, the use of microwave technology was shown to be more efficient for production.

**Conclusions:** With the applied methodology, it was determined that, for the B20 mixture, power values were the most stable in terms of thermal efficiency. In the context of the comparison of standard fuels, Colombian and Venezuelan diesel, under the same operating conditions, it was seen that the Venezuelan diesel-type fuel has better performance characteristics in terms of power, torque, and thermal stability. With respect to the specific consumption of the obtained fuel, the increase is observed with a higher percentage of biodiesel mixture, this being directly proportional to power loss.

**Keywords:** Biofuel, blends, engine CI, performance, power, torque.

**Language:** Spanish

## Open access



Cite this paper as: D. Herrera, J. Bermúdez y C. Castilla: "Análisis del desempeño de la potencia y el torque de un motor diésel operando con mezclas de biodiésel de palma", Ingeniería, Vol. 25, Num. 3, pp. 250-263 (2020).

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15676>

### Resumen

**Contexto:** Hay una tendencia en la sociedad moderna que se basa especialmente en el desarrollo de nuevos biocombustibles, direccionada específicamente hacia el campo de los motores de combustión interna, estableciéndose como punto central la pérdida de su rendimiento térmico. Este es uno de los principales retos, donde la investigación se dinamiza en forma compleja e importante. En este contexto, esta investigación fortalece este área del conocimiento y determina el comportamiento del desempeño de un motor monocilíndrico encendido por compresión con mezclas entre el diésel convencional y un biodiésel producido con técnicas innovadoras.

**Método:** En este trabajo se realizó un análisis en un banco de pruebas para motores de combustión interna tipo Diésel, donde se caracterizó y se determinó la eficiencia del motor utilizando diésel y diferentes mezclas como la B2, B5, B10, B20, B50 y B100, el número determina el porcentaje de biodiésel en la mezcla. El biodiésel utilizado contó como base el aceite de palma africana y se obtuvo por medio de la tecnología de radiación por microondas. Estas pruebas fueron realizadas utilizando la norma SAE J1349. La toma de datos como potencia, torque, consumo de combustibles y temperatura indicaron el desempeño del motor, lo que a su vez determinó los efectos de los diferentes combustibles en estudio.

**Resultados:** Al desarrollar las pruebas y realizar su análisis se evidenció que para todas las mezclas analizadas, la combustión ocurrió sin complicaciones; además de esto, al incrementar el porcentaje de biocombustible en la mezcla, el consumo de combustible reportó aumentos mayores o iguales al 20 % del consumo de combustible, así como pérdidas de potencia en el rango del 40 %. Por lo tanto, el uso tecnología con microondas se mostró más eficiente para su producción.

**Conclusiones:** Con la metodología aplicada, se determinó que, para la mezcla B20, los valores de la potencia fueron los más estables en términos de rendimiento térmico. En el contexto del comparativo de los combustibles patrón, diésel colombiano y venezolano, sometidos bajo las mismas condiciones de operación, se obtuvo que el combustible tipo diésel venezolano presenta mejores características de rendimiento en cuanto a su potencia, torque y estabilidad térmica. Con respecto al consumo específico del combustible obtenido, se observa el aumento con mayor porcentaje de mezcla de biodiésel, esto directamente proporcional a la pérdida de potencia.

**Palabras clave:** Biocombustible, desempeño, mezclas, motor CI, potencia, torque.

**Idioma:** Español

## 1. Introducción

Hoy en día, la cultura hacia el desarrollo sustentable se basa en cómo reducir los niveles de emisiones en los subproductos de los combustibles de origen fósil. La principal opción es utilizar fuentes de energía renovables. En este contexto, el biodiésel se muestra como una de las opciones menos dañinas para el medio ambiente de los motores diésel, abriendo el camino a nivel mundial para la construcción de vehículos más ecológicos. Entre las ventajas del biodiésel predominan origen renovable, biodegradabilidad, reducción de emisiones. Además, mejora las características lubricantes y tiene un punto de inflamación por encima al del diésel [1]. Para este combustible más verde, se ha exigido su uso en muchos países en un rango de mezcla de hasta el 20 % con diésel, ello con el fin de contrarrestar la contaminación [2].

El biodiésel es un combustible líquido, no contaminante ni tóxico y biodegradable, este se produce principalmente a partir de diferentes tipos de aceites vegetales y de grasa animales [3]. Es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción que produce el biodiésel. Estos ca-

talizadores pueden ser ácidos, básicos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación. El NaOH y KOH son los más usados [4].

El biodiésel es considerado como un combustible renovable, trae beneficios para el medio ambiente y puede ser usado en los motores convencionales. Otra de las ventajas del biodiésel es que es biodegradable y emite menos gases de invernadero a la atmósfera, lo cual reducirá la producción de tanto CO<sub>2</sub> y disminuye su impacto en la capa de ozono; sin embargo, existe una degradación de la tierra donde son cultivadas las plantas destinadas al biocombustible [5]. El biodiésel no posee azufre y aromáticos. Tiene un alto número de cetano, contenido medio de oxígeno y mayor punto de ignición; reduce las emisiones de material particulado, no es tóxico, aunque puede causar altas emisiones de óxido de nitrógeno [6], [7]. Es obtenido a partir de fuentes renovables [8].

Los motores diésel, al trabajar con biodiésel, experimentan una pérdida de potencia debido, principalmente, al menor poder calorífico, aunque esto se ve compensado con el hecho de ser un recurso renovable y amigo del medio ambiente. Las principales variaciones que ocurren son en los parámetros técnicos y medio ambientales del motor de combustión interna [9], [10].

En este trabajo se muestra el comportamiento de un biocombustible fabricado con materias primas de la región del Catatumbo, Norte de Santander, Colombia, mezclado con diésel comercial y probado en un banco de pruebas de motores de combustión interna, monitoreando las variables características como torque, potencia y consumo específico de combustible. Con lo anterior, se determinó el desempeño del motor. Este tipo de investigación aporta más información para diversificar más la malla energética de la región y el país, incentivando a futuras investigaciones en el campo de estos dispositivos cuando funcionan con biocombustibles, los cuales, a futuro, son la principal fuente de cambio para aportar a contrarrestar el calentamiento global.

## 2. Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en dos fases, la primera fase se enfoca en la estandarización del proceso de producción del biodiésel a base de aceite de palma africana por medio de la radiación por microondas; además de esto, se realizaron las respectivas caracterizaciones antes y después de la reacción de transesterificación para verificar que se cumplan las respectivas normas del estándar del biodiésel.

La segunda fase es el estudio del desempeño mecánico del motor de encendido por compresión, instalado en el banco de pruebas, dentro de los laboratorios del grupo de investigación GIDPI. En este se analizaron las respectivas mezclas del diésel comercial con el biodiésel de palma. Las mezclas a estudiar fueron las referenciadas a continuación: B2, B5, B10, B20, B50 y B100.

### 2.1. Fabricación de biodiésel

La radiación con microondas se ha utilizado para una variedad de aplicaciones, incluyendo la reacción de síntesis orgánicas. Las reacciones químicas se aceleran debido a la absorción selectiva de energía de microondas por moléculas polares. Debido a que la mezcla de aceite vegetal, metanol



**Figura 1.** Prototipo de hidrodestilación de biodiésel por radiación desarrollado.

e hidróxido de potasio contiene ambos componentes polares e iónicos, el calentamiento es rápido [11].

Gracias a los conocimientos en el campo de la hidrodestilación asistida por hornos microondas por parte de los investigadores de los grupos de investigación vinculados, se diseñó y fabricó el prototipo para la producción de biodiésel. Las características de este prototipo constan de un control de potencia de un horno microondas convencional, un reactor para las reacciones de transesterificación, el sistema de agitación y un sistema de refrigeración, el cual es de vital importancia para la obtención de un máximo rendimiento. Uno de los principales retos fue el control de las variables dentro del proceso, como la temperatura, presión, velocidad de agitación y suministro de potencia eléctrica al horno; para ello fue necesario realizar sus respectivos diseños y simulaciones estructurales, térmicas y de vibraciones, con el propósito de obtener un correcto balanceo del sistema en general. En la Figura 1 se aprecia el prototipo de hidrodestilación asistida por radiación.

La descripción de todo el proceso y los resultados de esta metodología de producción de biodiésel se presentarán en un trabajo que está en desarrollo denominado “Análisis de los parámetros físico-químicos de Biodiesel de Palma (*Elaeis guineensis*) obtenido de la hidrodestilación asistida por microondas”. Es importante resaltar que el biocombustible se caracterizó bajo las normas nacionales (ICONTEC) e internacionales (ASTM 6751, EN 14214, DIN). Los principales resultados de la caracterización están presentes en la sección de resultados.

## 2.2. Banco de pruebas

El desarrollo del banco de prueba de diagnóstico para motores de combustión interna ha sido fundamental en la investigación en esta área, ello debido a que los motores son sometidos a mediciones de pruebas de durabilidad y carga que se repiten hasta alcanzar su óptimo desempeño y los resultados previstos por el fabricante [12]. Las caracterizaciones se realizaron en un banco de prue-

bas de motores de combustión interna tipo monocilíndrico diésel, que cuenta con un dinamómetro electrónico en el cual se realizaron los respectivos análisis de eficiencia energética.

A continuación, se presentan las características del motor que se utilizó para realizar las respectivas evaluaciones y análisis en pruebas estandarizadas, cumpliendo con las normas estipuladas para ensayos de combustión interna, ello se ve en la Tabla I.

**Tabla I.** Especificaciones técnicas del motor.

<b>Especificación</b>	<b>Magnitud</b>
Referencia	HAZT 1B30-2
Número de Cilindros	1
Ciclo	Cuatro tiempos diésel
Refrigeración	Por aire
Suministro Combustible	Inyección directa
Rpm máx.	3600
Carrera	80X69mm
Cilindrada	347 cm <sup>3</sup>
Peso	35 Kg
Potencia	5,4 kW/ 7,3 Hp
Relación de compresión	22:1

En la tabla II se muestran las características de la instrumentación utilizada. Este equipo fue meticulosamente calibrado bajo las normas establecidas para dichas pruebas. También, en la Figura 2, se aprecia el conjunto del banco utilizado en este trabajo, resaltando que es un banco con los estándares exigidos por la norma SAE-J1349.

**Tabla II.** Instrumentación del banco de pruebas.

<b>Variable a Medir</b>	<b>Sensor</b>	<b>Marca</b>	<b>Rango</b>	<b>Precisión</b>
Caudal de combustible	Bureta graduada	PYREX	0-150 mL	5 mL
Caudal de aire	Manómetro de presión diferencial	GUNT	0-569 L/min	0,01 L/min
Fuerza	Célula de carga planas ZLB	FLINET	20-200 kg	—
Temperatura	Termocuplas tipo K	GUNT	0- 1000 °C	1 °C
Revoluciones	Sensor de proximidad P1C2S0802NOPA3	Wachendorff	0-9999 min -1	150 rpm



Figura 2. Banco de pruebas usado para el análisis de este trabajo.

## 2.3. Metodología de las pruebas

### 2.3.1. Motor a ciclo diésel

Las investigaciones en el campo de este tipo de motores aportan al desarrollo de la malla vehicular a nivel mundial, debido a que son los más usados en la industria de carga y su respectivo análisis complementan el desarrollo de estos dispositivos. Para el análisis del desempeño del motor con diferentes combustibles se contó con un motor monocilíndrico a ciclo diésel de 5,4 kW, de encendido manual, de refrigeración por aire y aspiración natural, tal como se observa en la Tabla I. Este motor, cuenta con un sistema de control de las condiciones ambientales del lugar de trabajo, evitando errores de las medidas de la instrumentación y pérdidas de la eficiencia del motor.

### 2.3.2. Software y adquisición de datos

El *software* de adquisición de datos utilizado en esta investigación presenta, en tiempo real, todas las magnitudes medidas de los principales parámetros de operación del motor, entre ellos: consumo específico de combustible, caudal de aire de entrada, rendimiento mecánico, rendimiento energético, rendimiento volumétrico, rango del valor de lambda, potencia térmica y mecánica, revoluciones, presión del ambiente. Este *software* se diseñó para obtener hasta cuatro curvas características simultáneamente, con el objetivo de hacer el monitoreo al comportamiento del motor. El ambiente de su programación se desarrolló a través de la herramienta computacional LabView®.

### 2.3.3. Selección de la prueba, a carga constante y carga variable

Para esta fase se hizo necesario elegir qué tipo de prueba es la más recomendada, debido a que para el análisis de los motores encendido por chispa o por compresión, la norma SAE J1349 estipula el código de pruebas de potencia de motores. Por lo anterior, se determinó usar la metodología de pruebas a carga variable y aceleración constante. En esta metodología se utilizó como punto de referencia el motor a máxima aceleración, a una velocidad de rotación de 3500 rpm, abriendo la válvula de combustible al 100 % para, posteriormente, aplicar gradualmente la carga con el

dinamómetro, que disminuye en porcentaje del 25 %. En este recorrido se tomó, a través de la adquisición de datos, el cúmulo de información necesaria para el respectivo análisis. Cabe señalar que se debe obtener el punto de equilibrio y, así, obtener las condiciones en régimen estable del sistema, encontrando la reducción del error de sus medidas en referencia. Para disminuir el error en las diferentes pruebas se tomó como estándar lo determinado en los autores [6], [7], donde se establece que en un régimen apropiado se deben hacer de cinco a diez repeticiones. Otro elemento para tomar este intervalo es lo recomendado en normas como la SAE J1349. En esta investigación se aplicaron ocho repeticiones por muestra.

Estas pruebas experimentales se realizaron en primer lugar con el diésel comercial en Colombia, después se mezcló con el biodiésel producido. Las proporciones de mezcla usadas fueron: B2, B5, B10, B20, B50 y B100. Cabe mencionar que el número presentado determina el porcentaje de biodiésel. Además, en segundo lugar, se tuvo como patrón el diésel suministrado en la República Bolivariana de Venezuela.

### 3. Resultados

En la Tabla III se presentan los resultados de la caracterización del biodiesel, donde se obtienen los rangos y los valores calculados de los diversos parámetros comprometidos en este estudio a través de las respectivas normas que lo soportan. Así, como se indicó en la sección 2.1., para este trabajo de investigación se desarrolló un biocombustible que cumplió con los estándares presentes en las normas nacionales e internacionales en cuanto a fabricación y uso.

**Tabla III.** Caracterización fisicoquímica del biodiesel de palma fabricado para esta investigación.

Parámetro	Unidades	Norma	Rango	Valor Calculado
Densidad	g/ml	NTC 336	0,86 – 0,90	0,85
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>			0,75
Viscosidad	mm <sup>2</sup> /s a 40 °C	ASTM D445 (metodología de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos)	1,9 - 6	5,11
<b>Poder calorífico</b>	Kcal/kg		—	41085.29
<b>Número de cetano</b>	cetanos	D 613	47 mínimo	58
<b>Índice de saponificación</b>	—	ASTMD 94	195-205	193,75
Índice de acidez	Acidez: % en masa de acuerdo con el tipo de muestra	NTC 218	—	74,95
Índice de Yodo	Acidez: % en masa de acuerdo con el tipo de muestra	NTC 238	120 máximo	50,02
Índice de refracción	—	NTC 289, ASTMD 1218	—	1,4405

Continuando, se presentan los resultados obtenidos en la Tablas IV-Tabla XI, donde se representan los comportamientos de los combustibles patrones y de las respectivas mezclas estipuladas con biodiésel. La información adquirida fue seleccionada bajo los criterios más relevantes para este estudio con respecto al freno, porcentaje de carga y velocidad de giro, torque, temperatura de los gases de salida del motor T1, la temperatura del combustible a la entrada del motor T2, la temperatura del medio donde se realizan las pruebas T3, el consumo de combustible y la potencia generada. Estos resultados fueron a condiciones de aceleración constante y aplicando carga en intervalos de 25 % hasta un valor de 100 %.

**Tabla IV.** Resultados del comportamiento del motor con el diésel colombiano.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	13,35	471,15	25	31	1,137	295,03	4,22	28,377
2	25 %	2700	14,4	488,61	25	31	0,765	179,53	4,06	46,634
3	50 %	2300	14,2	481,20	25	31	0,760	187,22	3,56	44,719
4	75 %	1900	14,83	455,27	25	31	0,553	160,08	3,01	52,298
5	100 %	1500	12,89	402,41	25	31	0,646	260,83	2,01	32,097

**Tabla V.** Resultados del comportamiento del motor con el diésel venezolano.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	13,52	439,26	25	31	1,008	356,77	4,21	30,486
2	25 %	2700	14,68	469,71	25	31	1,142	274,62	4,27	32,357
3	50 %	2300	15,13	464,37	25	31	0,676	174,25	3,61	48,045
4	75 %	1900	15,55	441,96	25	31	0,636	186,71	3,13	44,840
5	100 %	1500	13,53	396,26	25	31	0,537	195,92	2,18	43,849

**Tabla VI.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B2.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	14,84	484,65	25	31	1,235	279,30	4,72	29,975
2	25 %	2700	15,56	501,30	25	31	0,982	215,01	4,42	38,938
3	50 %	2300	15,82	488,79	25	31	0,760	184,89	3,80	45,280
4	75 %	1900	15,95	467,76	25	31	0,713	193,94	3,23	43,169
5	100 %	1500	13,65	388,16	25	31	0,629	268,40	2,22	31,192

**Tabla VII.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B5.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	15,45	493,06	25	31	1,297	293,78	4,86	28,498
2	25 %	2700	15,35	507,94	25	31	1,049	223,56	4,44	37,450
3	50 %	2300	15,85	501,29	25	31	0,739	161,77	3,89	51,751
4	75 %	1900	14,92	431,23	25	31	0,625	180,68	2,75	46,335
5	100 %	1500	12,07	370,52	25	31	0,599	261,94	1,99	31,962

**Tabla VIII.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B10.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	14,77	511,15	25	31	0,873	191,53	4,62	43,210
2	25 %	2700	14,81	503,61	25	31	0,734	169,59	4,19	48,799
3	50 %	2300	14,39	476,61	25	31	0,858	225,45	3,50	36,708
4	75 %	1900	13,36	426,45	25	31	0,744	237,25	2,53	34,882
5	100 %	1500	11,56	362,23	25	31	0,584	238,84	1,89	29,865

**Tabla IX.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B20.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	14,21	497,65	25	31	1,406	304,34	4,44	27,509
2	25 %	2700	14,61	497,46	25	31	1,173	272,41	4,21	30,733
3	50 %	2300	14,38	475,61	25	31	0,568	148,17	3,43	56,502
4	75 %	1900	13,53	432,73	25	31	0,506	187,86	2,68	30,191
5	100 %	1500	11,06	365,37	25	31	0,362	163,15	1,80	51,314

## 4. Análisis de resultados

En la Tabla XII se presenta un análisis estadístico de comparación de media, donde se observan las diferencias significativas entre los resultados calculados de las diferentes repeticiones. Para la variable de potencia, tiende a ser mayor cuando el porcentaje de mezcla de biodiesel es más pequeño, tal como lo indica [14], esto debido al bajo poder calorífico del biocombustible en comparación con el de origen fósil. Con el torque, los resultados son similares a los de la potencia, a mayor

**Tabla X.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B50.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	12,64	437,07	25	31	1,339	375,57	3,88	22,292
2	25 %	2700	13,46	429,85	25	31	1,240	322,92	3,83	25,926
3	50 %	2300	13,33	407,56	25	31	0,663	184,27	3,23	45,433
4	75 %	1900	12,95	382,85	25	31	0,816	266,59	2,61	31,403
5	100 %	1500	11,23	344,72	25	31	0,444	200,09	1,80	41,842

**Tabla XI.** Resultados del comportamiento del motor con la mezcla B100.

N°	Freno		Torque	Temperatura			Gasto		Potencia	Eficiencia
	% carga	Rpm	T(Nm)	T1	T2	T3	Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)	(kw)	%
1	0	3000	6,01	268,63	25	31	1,075	265,86	1,60	5,933
2	25 %	2700	6,10	274,63	25	31	1,075	516,09	1,59	5,933
3	50 %	2300	8,09	284,82	25	31	0,842	516,09	1,98	16,22
4	75 %	1900	8,70	274,03	25	31	0,842	1411,19	1,90	16,22
5	100 %	1500	7,26	268,63	25	31	0,367	1411,19	1,15	31,49

mezcla de biodiesel, mayor será la pérdida del mismo. La mejor relación de mezcla que indicó esta comparativa fue la B20, debido a que se busca un punto donde el porcentaje de biocombustible sea mayor, pero sin ver afectadas las variables que abarcan la tendencia del rendimiento en el motor de combustión interna, con las variables de consumo y consumo específico, donde existe un cambio significativo después de la mezcla B20, en este punto el aumento del gasto es mayor. Esto se debe a las propiedades del mismo biocombustible, tal como lo indica [14] y, en términos energéticos, deja de ser viable un combustible con un consumo alto. Por lo anterior, es de gran interés e importancia este tipo de investigaciones, las cuales se enfocan en encontrar puntos medios entre las mezclas de biocombustible y los orígenes fósiles. A continuación, la Tabla XII presenta el análisis estadístico de comparación media en referencia a sus respectivas muestras, dando como variables representativas la potencia, el torque y su análisis de gasto descrito en su consumo y consumo específico.

El comportamiento de la potencia en función de la rotación puede ser apreciado en la Figura 3, para los combustibles patrón, diésel colombiano, diésel venezolano y mezclas con biodiésel.

Al hacer un análisis comparativo de las diferentes curvas presentes en la Figura 3, en la que se relaciona la potencia en función de la rotación del motor para las diferentes mezclas, se observa que las mezclas que obtuvieron el mejor comportamiento en lo equivalente al mayor aporte de la potencia son la B2 y B5. Estos valores son corroborados según la investigación [13]; en este estudio referenciado, se presenta una metodología que se basa en encontrar la mejor proporción biodiésel-diésel y, de ahí, se selecciona como mezcla la B20 por ser la mezcla que menos pérdida de potencia

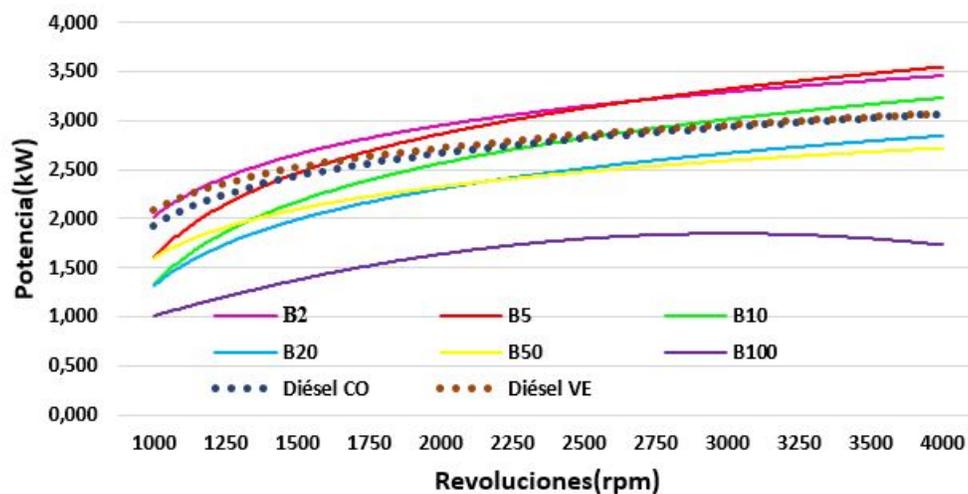
**Tabla XII.** Análisis estadístico de comparación de Media.

Muestra	Potencia (kw)	Torque (Nm)	Gasto	
			Consumo (kg/h)	Consumo específico (g/kwh)
B2	3,804	15,816	0,756	185,05
B5	3,852	15,722	0,729	162,12
B10	3,504	14,252	0,857	225,51
B20	3,442	14,382	0,574	248,51
B50	3,150	13,194	0,645	284,31
B100	1,892	7,954	0,853	517,92
Diésel CO	3,544	14,266	0,755	187,02
Diésel VE	3,692	15,190	0,675	175,11

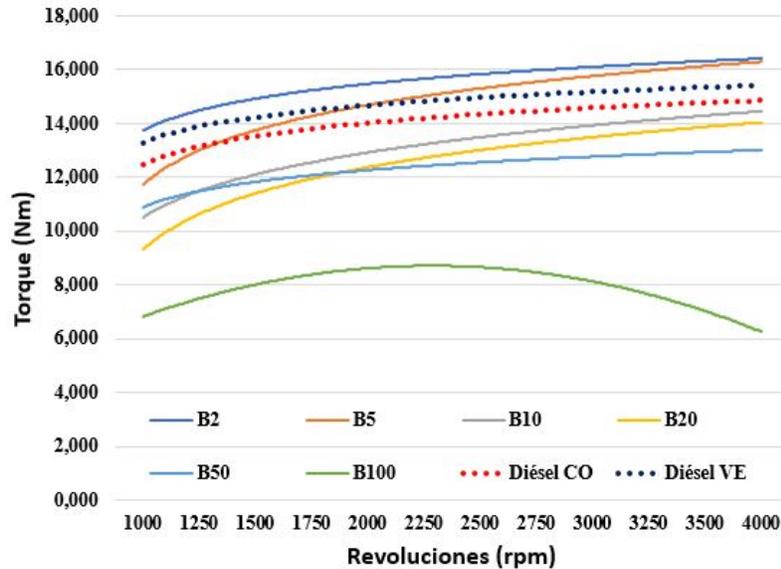
presentó con respecto a su proporción en comparación con las mezclas B50 y B100, que a diferentes velocidades y porcentajes de carga se presentan mayores pérdidas. Esto es un indicador muy importante para el estudio de las proporciones ideales y de la búsqueda del punto medio de mezcla, para un máximo aprovechamiento del combustible y mejores prestaciones en su eficiencia.

En la Figura 4, se presenta la tendencia de la potencia respecto a las revoluciones del motor a prueba, operando con las diferentes mezclas en estudio.

En el análisis comparativo de la Figura 4, para las curvas del torque se mantiene la tendencia que se observó en la potencia de las mezclas B2 y B5 que tienen mayor alcance. Se determina que a mayor mezcla de biodiésel, mayor será la pérdida de torque, tal como lo indica [14], con este resultado la curva de mayor estabilidad con respecto a la relación diésel-biodiésel fue la mezcla B20. Las mezclas con el torque más bajo fueron las B50 y B100. En el análisis comparativo de



**Figura 3.** Curvas de potencia con respecto a la velocidad de mezclas con biodiésel, combustibles patrón diésel colombiano y venezolano.



**Figura 4.** Curvas de torque con respecto a la velocidad de mezclas con biodiesel, combustibles patrón diésel colombiano y venezolano.

los combustibles patrón se observa un ligero aumento del diésel venezolano con respecto al colombiano. Siempre es mejor para la reducción de las emisiones un porcentaje alto de biodiésel en la mezcla [10], pero en términos de rendimiento se verán afectadas las variables del motor, como torque y potencia, causando un aumento de consumo específico de combustible [9], [13], [14]. De ahí, nace la importancia de realizar este tipo de investigaciones que presenten resultados óptimos con la utilización de una mayor mezcla de biodiesel en los combustibles distribuidos por el territorio nacional en los motores de combustión interna.

## 5. Conclusiones

Con la metodología aplicada para las pruebas, se determinó que para la mezcla B20 los valores de la potencia fueron los más estables en términos de rendimiento térmico, ello en razón de que a menor porcentaje de mezclas se obtuvo mayor potencia, pero entre más grande sea el porcentaje de mezcla con biodiésel, más aportará a la reducción de la contaminación.

En el contexto del comparativo de los combustibles patrones, el diésel colombiano y el diésel venezolano sometidos bajo las mismas condiciones de operación, se encontró que el combustible tipo diésel venezolano presenta mejores características de rendimiento en cuanto a su potencia, torque y estabilidad térmica. Siendo validado por el número de repeticiones y condiciones de pruebas estipulado dentro de la norma SAE J1349.

Con respecto al consumo específico del combustible obtenido, se observa el aumento con mayor porcentaje de mezcla de biodiésel, esto directamente proporcional a la pérdida de potencia. Para el uso prolongado del biocombustible se recomienda un porcentaje intermedio que aporte al medio ambiente, pero sin disminuir el rendimiento, esto se presenta debido a las características de bajo poder calorífico que posee el biodiésel en comparación con el combustible de origen mineral.

## Referencias

- [1] A. Pérez, M. A. Coronado, G. Montero, C. García, R. Ayala y H. E. Campbell, “Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diéselbiodiésel”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 16, n.º 1, pp. 83-92, 2015. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72109-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72109-8) ↑251
- [2] I. S. Abd *et al.*, “A review for key challenges of the development of biodiesel industry”, *Energy Conversion and Management*, vol. 185, pp. 508-517, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.02.019> ↑251
- [3] L. Hernández, M. Benitez y B. Aguilera, “Obtención y caracterización del biodiésel”, *Ciencia en su PC*, vol. 1, n.º 1, pp. 1-11, 2019. ↑251
- [4] L. E. Medina, N. A. Chávez y J. Jáuregui, “Biodiésel, Un combustible renovable”, *Investigación y Ciencia*, vol. 20, n.º 55, pp. 62-70, 2012. ↑252
- [5] S. D. Parra, “Impacto de los biocombustibles y desarrollo de las energías alternativas en Colombia”, *Revista Gestión y Desarrollo Libre*, n.º 2, pp. 23-32, 2016. ↑252
- [6] A. Rojas, Ó. Chaparro y C. Ospina, “Evaluación de mezclas biodiésel-diésel en la generación de energía eléctrica”, *Ingeniería y Universidad*, vol. 15, n.º 2, pp. 319-336, 2011. ↑252, 256
- [7] R. L. Barbosa, F. Moreira, N. Salvador y C. E. Silva, “Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiésel”, *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, n.º 5, pp. 1588-1593, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500035> ↑252, 256
- [8] M. Conceicao *et al.*, “Thermoanalytical characterization of Castor oil Biodiésel”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, n.º 5, pp. 964-975, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.10.001> ↑252
- [9] R. Piloto, N. Ferrer y N. Ferrer, “Evaluación del desempeño de un motor Yuchai trabajando con biodiésel cubano”, *Ingeniería Energética*, vol. 31, n.º 3, pp. 70-79, 2010. ↑252, 261
- [10] L. Mónico, J. Sandoval, A. Rodríguez, “Estudio teórico sobre la influencia del uso de mezclas de biodiesel de aceite de palma con jet A-1 en Motores a reacción”, *Ingeniería*, vol. 22, n.º 1, pp. 140-151, 2017. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a06> ↑252, 261
- [11] L. Jar-Jin y C. Yu-Wen, “Production of biodiesel by transesterification of Jatropha oil with microwave heating”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 75, pp. 1-8, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.03.034> ↑253
- [12] F. Márquez y M. S. Rojas, “Diseño y construcción de un banco de pruebas para motores monocilíndrico de cuatro tiempos a gasolina”, tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2011. [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1679/digital\\_21165.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1679/digital_21165.pdf?sequence=1) ↑253
- [13] A. García, “Evaluación del desempeño y emisiones de un motor de trabajo pesado encendido por compresión cuando es operado con biodiésel y aceite de Jatropha y Diésel Fósil”, tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2015. <http://bdigital.unal.edu.co/51615/1/alexandergarciamariaca.2015.pdf> ↑259, 261
- [14] G. G. Reyes, J. A. Castillo y A. X. Escalante, “Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando Mezclas parciales de Biodiésel”, *Ingeniería solidaria*, vol. 12, n.º 20, pp. 23-31, 2016. <https://doi.org/10.16925/in.v19i20.1413> ↑258, 259, 260, 261

---

### Daniel Andrey Herrera Susa

Recibió el título de Ingeniero Mecánico en 2019 de la Universidad Francisco de Paula Santander, con mención de honor por su trabajo de grado *laureado* y del cual se desarrolló este artículo. Se desempeñó en el grupo de investigación en Desarrollo de Procesos Industriales GIDPI de la UFPS y en el grupo de investigación FITOBIOMOL también de la UFPS, actualmente investigador con el perfil académico multidisciplinario, proactivo y dispuesto a afrontar nuevos retos con gran dedicación. Cuyas áreas de interés son: mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, sistemas térmicos, motores de combustión Interna, biocombustibles, energías renovables, procesos de manufactura y refrigeración.

CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001674223](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001674223)

Correo electrónico: danielandreyhs@ufps.edu.co

---

### **José Ricardo Bermúdez Santaella**

Recibió el título de ingeniero Electricista en 1991 de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recibió el título de magíster en Automatización, Control e Instrumentación en 2016 de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Es profesor de tiempo completo del Departamento de Electricidad y Electrónica en la Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta, Colombia. Categorizado en la escala de Colciencias como Investigador Asociado. Es fundador y director del grupo de investigación de Desarrollo en Procesos Industriales (GIDPI-2004). Sus áreas de interés son: automatización, control e instrumentación, procesos de manufactura, motores de combustión interna y turbomaquinas. Cuenta con experiencia en el sector industrial.

CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000168742](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000168742)

Correo electrónico: josericardobs@ufps.edu.co

---

### **Carlos Eduardo Castilla Álvarez**

Graduado en Ingeniería Electromecánica en la Universidad Francisco De Paula Santander (2012), magíster en Ingeniería Mecánica en la Universidad Federal de Minas Gerais (2015), doctor en Ingeniería Mecánica en la Universidad Federal de Minas Gerais (2018). Actualmente es profesor adjunto en la Universidad Federal de Lavras (UFLA) y ejecuta proyectos de investigación en el Centro de Tecnología de Movilidad (CTM) de UFMG-BRASIL y en el Grupo de Investigación de Desarrollo en Procesos Industriales de UFPS-COLOMBIA. Con énfasis en motores de combustión interna, transferencia de calor, enfriamiento, instrumentación, modelado matemático, control y automatización de procesos industriales. Creativo, innovador, investigador líder, responsable, honesto, disciplinado y listo para enfrentar nuevos desafíos con la máxima dedicación y compromiso. Con habilidades de software de ingeniería para el diseño y desarrollo de ingeniería de detalle en procesos industriales (SolidEdge, AutoCAD, Matlab, Simulink y LabVIEW). En constante aprendizaje y disposición para mantener el crecimiento personal y profesional.

CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001476018](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001476018)

Correo electrónico: carlos.alvarez@ufla.br