

## Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel

Evaluation of the operation of internal combustion engines working with biodiesel

Avaliação do funcionamento de motores de combustão interna trabalhando com biodiesel

**Narváez Ramos, Leaynery Alexander**<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0005-6042-7924>

**Huerta Milla, Oliver Jhair**<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0009-0001-0597-2381>

**Arauco Cortez, Gonzalo Rodrigo**<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0009-0008-3028-520X>

**Cedron Maguiña, Ricardo Antonio**<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-3925-4094>

Recibido: 21.02.2023

Aceptado: 19.05.2023

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar el desempeño de un motor mediante la utilización de diésel convencional y biodiesel de aceite de soya. Materiales y métodos. La metodología comprende una exhaustiva búsqueda de información bibliográfica junto con el empleo del programa EES (Engineering Equation Solver), para el análisis de los datos. Resultados. Los resultados obtenidos revelan que, al optar por el uso de biodiesel de aceite de soya, se observa una ligera reducción en tanto la potencia como el torque del motor (1560.49 N.m. y 1181.20 kW), en comparación con el uso del diésel convencional (1663.95 N.m. y 1306.29 kW), a pesar de esta disminución es importante destacar que las diferencias registradas no son muy significativas. En el contexto de estas observaciones, se llega a la conclusión de que, si bien el biodiesel de aceite de soya muestra un desempeño ligeramente inferior en motores de combustión interna en comparación con el diésel convencional, esta desventaja se ve equilibrada por su potencial para contribuir a la reducción de la contaminación ambiental. Optar por el biodiesel refleja una elección consciente que cuida del medio ambiente y, en última instancia, beneficia la salud del planeta.

**Palabras clave:** *diésel convencional, biodiesel de aceite de soya y contaminación ambiental.*

### ABSTRACT

The present research aimed to compare the performance of an engine using conventional diesel and soybean oil biodiesel. Materials and methods. The methodology involved an exhaustive literature search combined with the use of the EES (Engineering Equation Solver) program for data analysis. Results. The obtained results reveal that opting for the use of soybean oil biodiesel shows a slight reduction in both the power and torque of the engine (1560.49 N.m. and 1181.20 kW) compared to the use of conventional diesel (1663.95 N.m. and 1306.29 kW). Despite this decrease, it is important to note that the differences recorded are not very significant. In the context of these observations, the conclusion is drawn that, although soybean oil biodiesel exhibits slightly lower performance in internal combustion engines compared to conventional diesel, this disadvantage is balanced by its potential to contribute to the reduction of environmental pollution. Choosing biodiesel reflects a conscious choice that cares for the environment and ultimately benefits the health of the planet.

**Keywords:** *conventional diesel, soybean oil biodiesel and environmental pollution.*

### RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo comparar o desempenho de um motor utilizando diesel convencional e biodiesel de óleo de soja. Materiais e Métodos. A metodologia envolveu uma busca abrangente de informações

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote. Perú. Estudiante. [202011035@uns.edu.pe](mailto:202011035@uns.edu.pe)

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote. Perú. Estudiante. [202011029@uns.edu.pe](mailto:202011029@uns.edu.pe)

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote. Perú. Estudiante. [202011033@uns.edu.pe](mailto:202011033@uns.edu.pe)

<sup>4</sup> Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote. Perú. Magister. [rcedron@uns.edu.pe](mailto:rcedron@uns.edu.pe)

bibliográficas, juntamente com o uso do programa EES (Engineering Equation Solver), para a análise dos dados. Resultados. Os resultados revelaram que ao optar pelo uso de biodiesel de óleo de soja, houve uma leve redução tanto na potência quanto no torque do motor (1560,49 N.m e 1181,20 kW), em comparação com o uso do diesel convencional (1663,95 N.m e 1306,29 kW). Apesar dessa diminuição, é importante ressaltar que as diferenças registradas não são muito significativas. No contexto dessas observações, conclui-se que, embora o biodiesel de óleo de soja demonstre um desempenho ligeiramente inferior em motores de combustão interna em comparação com o diesel convencional, essa desvantagem é equilibrada pelo seu potencial em contribuir para a redução da poluição ambiental. Optar pelo biodiesel reflete uma escolha consciente que preserva o meio ambiente e, em última análise, beneficia a saúde do planeta.

**Palavras-chave:** diesel convencional, biodiesel de óleo de soja e poluição ambiental.

## Introducción

En el contexto actual, la demanda global de energía sigue siendo principalmente satisfecha por combustibles fósiles, lo que ha generado preocupaciones sobre el cambio climático y la disponibilidad futura de recursos (Bari, 2019). Los motores de combustión interna, especialmente aquellos que utilizan diésel convencional, son una fuente significativa de emisiones contaminantes, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno y partículas finas, que contribuyen al calentamiento global y a la mala calidad del aire en las zonas urbanas. Ante esta problemática, Sharma et al. (2020) expresa que, la bioenergía es un excelente sustituto para atajar este problema, ya que es renovable, ecológica y puede crear oportunidades de empleo. Consecuencias de esta Realidad Problemática, tenemos el impacto ambiental asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub>, gases contaminantes y partículas propias del combustible utilizado por estos tipos de motores (Andara, 2020). Los motores de combustión interna que operan con diésel convencional emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Disponibilidad y sostenibilidad de recursos, la dependencia continua de combustibles fósiles para satisfacer la demanda de energía es insostenible a largo plazo, debido a la finitud de estos recursos y a los impactos ambientales asociados con su extracción y uso. Rendimiento del motor, es necesario evaluar cómo el biodiesel afecta el rendimiento general de los motores, incluidas las variables de torque y potencia efectiva. Para respaldar la importancia de esta realidad problemática, podemos basarnos en indicadores internacionales y nacionales relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, la calidad del aire y el consumo de energía en el sector del transporte (Benavides y Chávez, 2019). Organizaciones como la Agencia Internacional de Energía (AIE), la Organización Mundial de la Salud (OMS), y agencias gubernamentales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) podrían proporcionar datos relevantes sobre estos temas. Por ejemplo, según la EEA (2023) en 2021 el 97% de la población urbana estuvo expuesta a concentraciones de partículas finas por encima del nivel de referencia basado en la salud establecido por la Organización Mundial de la Salud.

La investigación busca evaluar el funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel de aceite de soja en comparación con diésel convencional es de suma importancia en varios aspectos. A continuación, destacamos los puntos clave de su relevancia: La investigación es altamente conveniente debido a la creciente preocupación mundial sobre el cambio climático, la necesidad de reducir las emisiones contaminantes y la necesidad de diversificar las fuentes de energía para garantizar la seguridad energética en el futuro. El aspecto social de esta investigación es trascendental, ya que sus resultados pueden tener un impacto positivo. La reducción de emisiones contaminantes asociadas con el uso de diésel convencional beneficiaría a la sociedad en su conjunto, al mejorar la calidad del aire y reducir la incidencia de enfermedades respiratorias y problemas de salud. La investigación propuesta también tiene un valor metodológico significativo, ya que se basará en el cálculo analítico de variables de torque y potencia efectiva. Además de la evaluación empírica del torque y potencia al utilizar biodiesel de soja y diésel convencional. Esto podría conducir al desarrollo de un nuevo enfoque o metodología para evaluar el desempeño de otros biocombustibles o para comparar diferentes tipos de motores en futuros estudios.

El objetivo general de esta investigación fue comparar el desempeño de un motor utilizando el diésel convencional y Biodiesel de aceite de soja, de tal manera que los objetivos específicos fueron; calcular analíticamente el torque y la potencia efectiva del motor con combustible diésel, calcular analíticamente el torque y la potencia efectiva del motor con combustible Biodiesel de soja, evaluar el torque y la

potencia a diversos regímenes de giro y propiedades del combustible y comparar los parámetros de torque y potencia efectiva de combustibles (Quiros, 2022).

Según, (Marcos et al., 2019) y (Díaz-Barrios y Pérez-Acosta, 2021) el objetivo Principal fue realizar un estudio del proceso de combustión de las mezclas Diesel con algunos combustibles naturales, tales como; algodón, soya, girasol. Los resultados obtenidos fueron que, la fluctuación en el proceso estequiométrico de la reacción de Combustión al determinar la relación aire/combustible teórico en cada componente natural, en caso de la soya se obtuvo el siguiente valor 13.719. La conclusión principal fue las mezclas de diésel 2 con biodiesel de soya, girasol y algodón tienen similar comportamiento de un combustible diésel convencional proveniente de un hidrocarburo y que la eficiencia máxima se alcanza con el 30% de las mezclas de diésel 2 con biodiesel de soya y algodón. Además, Santivañez (2016), tiene como objetivo evaluar de manera experimental el efecto que tiene utilizar mezclas de Diesel y biodiesel en porcentajes sobre el consumo de combustible y las emisiones de gases en un motor Diesel. Los resultados obtenidos se muestran gráficos obtenidos al evaluar las mezclas para diferentes regímenes de giro, las gráficas comparan la evaluación del Diesel y biodiesel y sus mezclas. La conclusión fue, el consumo específico de combustible aumentó conforme se incrementó el porcentaje de biodiesel en la mezcla. Se encontró aumentos de hasta 4 % para una velocidad de 1000 rpm y 4,5% para 2000 rpm, ambos para la mezcla DB10 respecto a la mezcla DB5 y a la mayor presión media efectiva ensayada (37,5 kPa) (Colmenares & Jeraldine, 2019).

Mencionamos a Barrera (2018) y Menaca y Bedoya-Caro (2022), tiene como objetivo ofrecer una revisión del estado actual del uso del hidrógeno en MCI, especialmente en MEC. Los resultados obtenidos es un cuadro donde se evaluó el hidrogeno en diferentes tipos de motores. La conclusión fue que es necesario que dentro de los planes energéticos colombianos sea acoplado el hidrógeno como fuente de energía y como combustible para los MCI. También, García-Sánchez et al. (2018), tiene como objetivo evaluar el desempeño de motores diésel alimentados con bio-oil hidrotratado proveniente de biomasa lignocelulósica. Los resultados obtenidos según (Romero-Piedrahita y Mejía-Calderón, 2022) entre los datos experimentales y simulados de este motor, tras ajustar los parámetros de Wiebe, se llevó a cabo a tres velocidades de operación, 1500 rpm, 2000 rpm y 2500 rpm. La conclusión fue que el bio-oil hidrotratado puede convertirse en un sustituto parcial del combustible diésel derivado del petróleo, ya que, al mezclarse con este último en pequeñas proporciones cercanas al 20 %, se presenta un desempeño similar en el motor. Finalmente, Henao-Castañeda et al. (2019), tiene como objetivo ver el punto de vista de la mecánica de maquinaria y la teoría de grafos, las estructuras cinemáticas de Watt y Stephenson, que, mediante arreglos multieslabón, permiten recrear el mecanismo presentado por James Atkinson. Los resultados obtenidos son graficas obtenidas evaluando las estructuras cinemáticas de Watt, Stephenson y Atkinson (Mafla, 2021) y compararlas. La conclusión fue Los ciclos expandidos se utilizan para aprovechar de un mejor modo el combustible utilizado, y como resultado mejorar la eficiencia en los motores de combustión interna.

### Material y métodos:

La metodología utilizada en este informe proporciona una descripción detallada de los enfoques y procedimientos empleados para llevar a cabo el Trabajo. En esta sección se presentan de manera concisa los métodos utilizados (Alcántara, 2020).

La metodología es la siguiente:

- Revisión bibliográfica: Se llevó a cabo una revisión de fuentes académicas, científicas y técnicas relacionadas con los motores de combustión interna, Diesel convencional y, específicamente, el biodiesel de aceite de soya.
- Selección de ecuaciones y modelos: A partir de la revisión bibliográfica, se seleccionarán las ecuaciones y modelos teóricos adecuados para caracterizar el desempeño de los motores con biodiesel de aceite de soya y diésel convencional.
- Aplicación teórica: Se aplicarán las ecuaciones y modelos seleccionados para calcular el torque y la potencia efectiva.

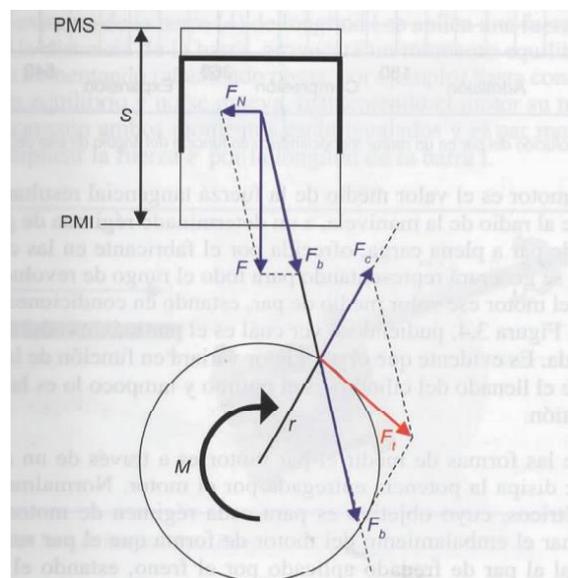
- Evaluación de resultados: Los resultados teóricos obtenidos serán evaluados y analizados en función de los objetivos del estudio. Se identificarán las diferencias y similitudes en el desempeño del motor con ambos combustibles, se contrastarán los aspectos teóricos con las investigaciones.
- Recomendaciones: Se brindarán recomendaciones pertinentes y prácticas de acuerdo a los resultados del desempeño del motor con biodiésel de aceite de soya y diésel convencional.
- Conclusiones: Se elaborarán conclusiones basadas en el análisis y la interpretación de los resultados teóricos. Se resumirán los hallazgos más relevantes y se establecerá la contribución del estudio al campo de los biocombustibles y motores de combustión interna.



**Figura 1.** Esquema metodológico.

## Resultados

Por lo general, cuando hablamos de eficiencia en un motor de coche, usamos dos medidas: la potencia y el torque. Estas medidas nos dicen cuánta fuerza y energía puede producir el motor en diferentes velocidades (Rodríguez et al., 2008). Podemos observar cómo estos valores cambian a medida que el motor va girando más rápido. Al entender estos valores, podemos determinar cuándo y en qué condiciones el motor funciona mejor, es decir con un alto índice de eficiencia.



**Figura 2.** Diagrama de fuerzas del mecanismo biela-manivela

La Figura 2 muestra el escenario, por el cual el torque cambia con el tiempo debido a la posición de la biela y la manivela. En términos termodinámicos, también depende de la presión que los gases de combustión ejercen sobre la cabeza del pistón. Por lo tanto, el valor del torque que se obtiene es la suma de los torques individuales de cada cilindro del motor de combustión interna.

$$M = F_b \times d \dots (1)$$

**Tabla 1.**  
*Datos técnicos de Motor A-Yuichai*

N°	Parámetro	Valor
1	Tipo	4T
2	i	6
3	D	108 mm
4	V <sub>h</sub>	1145.17 cm <sup>3</sup>
5	ε	16.5:1
6	n	2800 rpm
7	P <sub>1</sub>	101325 Pa
8	T <sub>1</sub>	293.15 K
9	PCI	43 MJ/kg
10	α	Variable de análisis

1. Análisis termodinámico del ciclo Diesel

Condiciones térmicas en cada estado

Estado 1: P<sub>1</sub> = 101325 Pa, T<sub>1</sub> = 293.15 °K

V<sub>h</sub> = 1145.17 cm<sup>3</sup>    ε = 16.5    V<sub>1</sub> = 1219.05 cm<sup>3</sup>

Estado 2: V<sub>2</sub> = 73.88 cm<sup>3</sup>

P<sub>2</sub> = (16.5)<sup>1.25</sup>(101325 Pa) = 3369547.19 Pa    T<sub>2</sub> = 590.83 °K

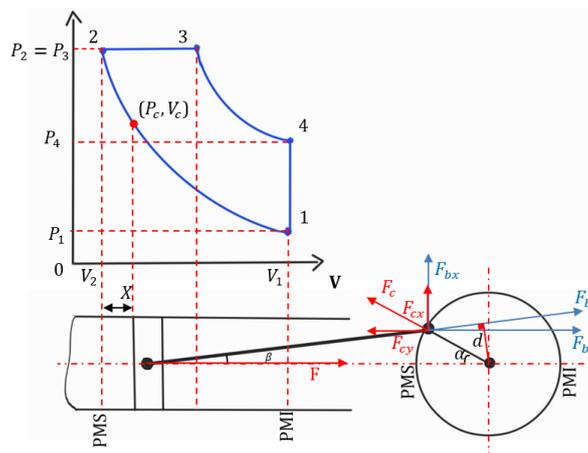
Estado 3: P<sub>3</sub> = P<sub>2</sub> = 3369547.19 kPa

R(A/C)<sub>Masico</sub> = 15  $\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}}$  (Diesel)    T<sub>3</sub> =  $\frac{m_c \cdot PCI}{m_{Cv}} + T_2 = 3445.62 \text{ °K}$

$$V_3 = (3445.62 \text{ K}) \left( \frac{73.88 \text{ cm}^3}{590.83 \text{ K}} \right) = 430.86 \text{ cm}^3$$

Estado 4: V<sub>4</sub> = V<sub>1</sub> = 1219.05 cm<sup>3</sup>    P<sub>4</sub> =  $\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k P_3 = 918258.31 \text{ Pa}$     T<sub>4</sub> = 2656.72 °K

2. Análisis del Par Motor: M



**Figura 2.** Diagrama de par motor.

3. Parámetros de diseño

Se establecen y calculan los siguientes parámetros de diseño para el motor

- Carrera del pistón (C):  $C = \frac{4(1.14517 \times 10^{-3} m^3)}{(108 \times 10^{-3} m)^2 \pi} = 0.125 \text{ m}$
  - Radio de giro (r):  $r = \frac{0.125 \text{ m}}{2} = 0.0625 \text{ m}$
  - Relación ( $\lambda$ ):  $\lambda = 0.2628$
  - Longitud de biela (L):  $L = \frac{0.0625 \text{ m}}{0.2628} = 0.2378 \text{ m}$
4. Distancia (d):  $d = 0.0625 \times \sin 10^\circ = 0.01085 \text{ m}$
  5. Ángulo de abertura ( $\beta$ ):  $\beta = \sin^{-1}(0.2628 \sin 10^\circ) = 2.6156^\circ$
  6. Presión ( $P_c$ ):  $P_c = 3369547.19 \text{ Pa}$
  7. Fuerza ( $F_{\text{pistón}}$ ):  $F_{\text{pistón}} = (3369547.19 \text{ Pa}) \times \left(\frac{\pi}{4} (0.108 \text{ m})^2\right) = 30868.03 \text{ N}$
  8. Masa alterna (m):  $m_a = 2.29022 \text{ kg}$
  9. Aceleración (a):  $a = 0.0625(\cos 10^\circ + 0.2628 \cos 20^\circ) \left(\frac{2800\pi}{30}\right)^2 = 6618.7968 \text{ m/s}^2$
  10. Fuerza ( $F_a$ ):  $F_a = -(2.29022 \text{ kg}) \times \left(6618.7968 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = -15158.5 \text{ N}$
  11. Fuerza (F):  $F = 30868.03 \text{ N} - 15158.5 \text{ N} = 15709.53 \text{ N}$
  12. Fuerza ( $F_b$ ):  $F_b = \frac{15709.53 \text{ N}}{\cos 10^\circ} = 15951.87 \text{ N}$

13. Cálculo del torque (M)

$$M = 15951.87 \text{ N} * 0.01085 \text{ m}$$

$$M = 173.08 \text{ N.m}$$

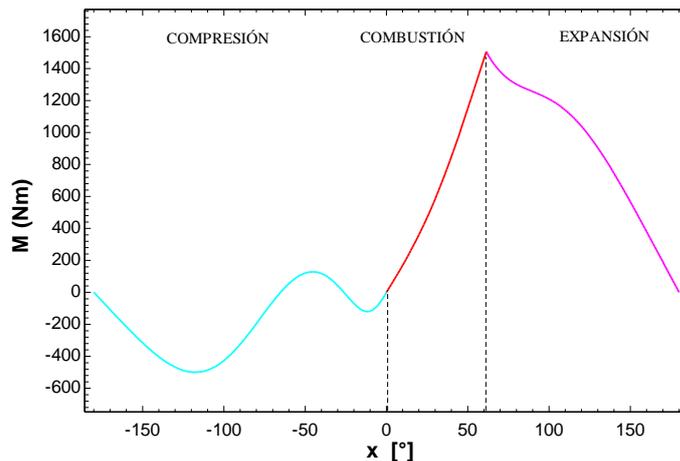
14. Límite de desplazamiento en la combustión (2 → 3)

$$X_{\text{máx}} = \frac{430.86 \times 10^{-6} m^3 - 73.88 \times 10^{-6} m^3}{\frac{\pi}{4} (0.108 m)^2} = 0.03897 \text{ m}$$

15. Límite de apertura  $\alpha$  en la combustión (2 → 3)

$$0.03897 = 0.0625(1 - \cos \alpha_{\text{máx}}) + 0.2378(1 - \sqrt{1 - 0.2628^2 \sin^2 \alpha_{\text{máx}}})$$

$$\alpha_{\text{máx}} = 61.37$$



**Figura 3.** Comportamiento del torque vs el ángulo de giro a 2800 rpm.

16. Torque máximo de un cilindro:  $M_{m\acute{a}x} = 1506.47 \text{ N.m}$

17. Torque total del motor  $M_{motor} = \frac{1506.47 \text{ N.m} \times 6}{2} = 4519.41 \text{ N.m.}$

18. Trabajo indicado  $W_i$

$$W_{12} = \frac{(3369547.19 \text{ Pa})(73.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3) - (101325 \text{ Pa})(1219.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}{1 - 1.25} =$$

$$W_{12} = -501.69 \text{ J}$$

$$W_{23} = (3369547.19 \text{ Pa})(430.86 \times 10^{-6} \text{ m}^3 - 73.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3)$$

$$W_{23} = 1202.86 \text{ J}$$

$$W_{34} = \frac{(918258.31 \text{ Pa})(1219.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3) - (3369547.19 \text{ Pa})(430.86 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}{1 - 1.25}$$

$$W_{34} = 1329.60 \text{ J}$$

$$W_i = -501.69 \text{ J} + 1202.86 \text{ J} + 1329.60 \text{ J} = 2030.77 \text{ J}$$

19. Potencia indicada  $P_i$   $P_i = (2030.77) \cdot \left(\frac{\pi}{30} \cdot 2800\right) \frac{6}{2} = 1786358.59 \text{ W}$

20. Potencia de entrada  $P_{en} = \left(0.041982 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) * \left(43\ 000\ 000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) = 1805.23 \text{ kW}$

21. Potencia de salida  $P_s = 4519.41 * \left(2800 \cdot \frac{\pi}{30}\right) = 1325160.2 \text{ W} = 1325.2 \text{ kW}$

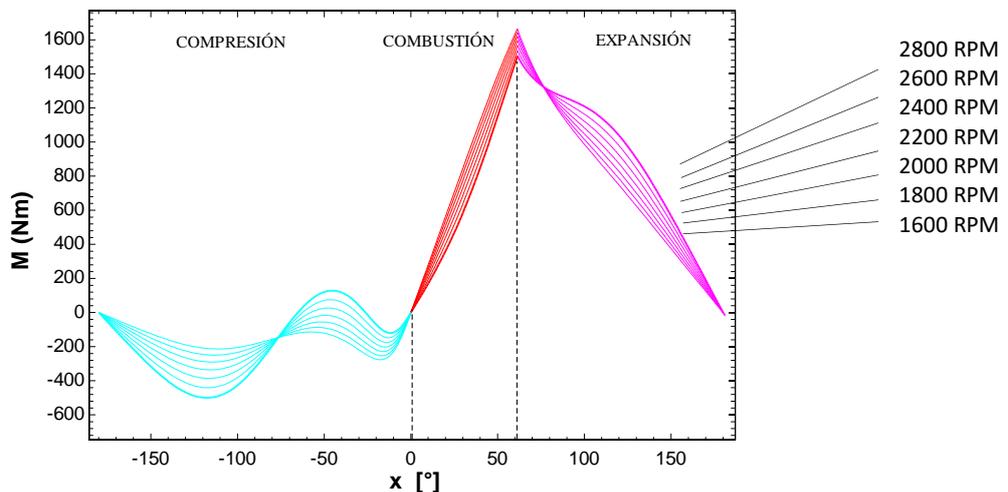
22. Perdidas Mecánicas  $P_p = 1805.23 \text{ kW} - 1325.16 \text{ kW} = 480.067 \text{ kW}$

23. Potencia efectiva  $P_e = 1786.36 \text{ kW} - 480.067 \text{ kW} = 1306.29 \text{ kW}$

24. Eficiencia  $\eta = \frac{1306.29 \text{ kW}}{1805.23 \text{ kW}} * 100\% = 72.36 \%$

Mediante el EES graficamos el torque en función del ángulo de giro  $\alpha$ , todo esto variando los rpm desde 1600 a 2800 rpm el cual es el máximo para este motor. Esta programación realizada es válida para trabajar con cualquier tipo de combustible, para nuestro caso con Diesel y Biodiesel de aceite de soya. Para emplear un tipo de combustible específico, es necesario cambiar los parámetros por las características del combustible a emplear, tal sea el caso como: Índice politrópico (k), Relación aire-combustible (A/C), Poder calorífico Interno (PCI) y la capacidad calorífica específica a presión y/o volumen constante ( $C_{p-v}$ ). Los resultados son los siguientes:

**Para el Diesel convencional**



**Figura 4.** Comportamiento del torque vs ángulo de giro a diversos RPM - Diesel.

En la siguiente Figura 4, observamos que el eje horizontal representa el ángulo de giro del motor, que corresponde a las posiciones del pistón en su ciclo de trabajo, mientras que el eje vertical representa el torque del motor, que es la fuerza rotacional que el motor produce en el cigüeñal. Se observa un aumento gradual en el torque a medida que el ángulo de giro aumenta hasta un punto máximo, donde el torque alcanza su valor más alto. Luego, el torque puede disminuir a medida que el motor se acerca a la siguiente fase del ciclo de trabajo. El punto donde la curva alcanza su valor más alto es el punto de torque máximo, localizado para el siguiente estudio en cuestión, un ángulo de 61.37°. Este punto indica la máxima fuerza de rotación que el motor puede generar a un rpm específico y un ángulo de giro específico. Es un indicador importante de la capacidad de tracción y la capacidad de carga del motor (Tobío-Pérez et al., 2018).

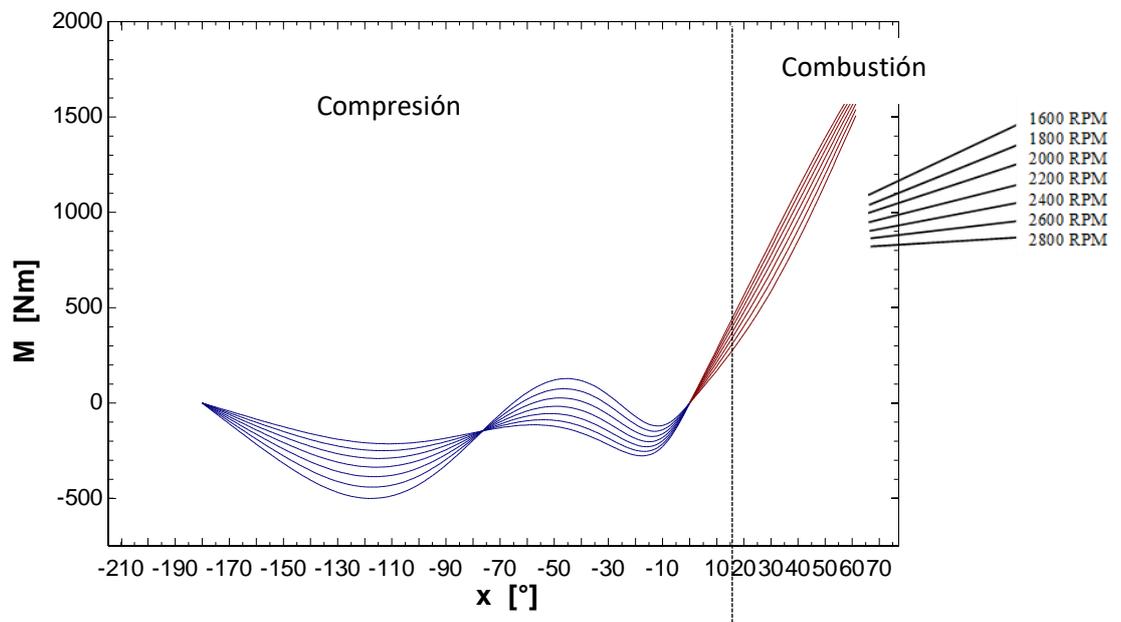
A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados para el Diesel.

**Tabla 2.**

*Resumen de variables torque y potencia obtenidas para el Diesel*

N°	rpm	Torque máx. (N.m.)	Torque total (N.m.)	Potencia efectiva (kW)
1	1600	1663.95	4991.85	824.14
2	1800	1643.66	4930.98	914.52
3	2000	1621.00	4863.00	1003.18
4	2200	1595.94	4787.82	1087.60
5	2400	1568.50	4705.50	1164.24
6	2600	1538.68	4616.04	1238.58
7	2800	1506.47	4519.41	1306.29

**Para el biodiesel de aceite de soya**



**Figura 5.** Comportamiento del Torque Vs Ángulo de giro a diversos RPM – Biodiesel

En la siguiente Figura 5, observamos que el eje horizontal representa el ángulo de giro del motor, que corresponde a las posiciones del pistón en su ciclo de trabajo, mientras que el eje vertical representa el

torque del motor, que es la fuerza rotacional que el motor produce en el cigüeñal. Se observa un aumento gradual en el torque a medida que el ángulo de giro aumenta hasta un punto máximo, donde el torque alcanza su valor más alto. Luego, el torque puede disminuir a medida que el motor se acerca a la siguiente fase del ciclo de trabajo. El punto donde la curva alcanza su valor más alto es el punto de torque máximo, localizado para el siguiente estudio en cuestión, un ángulo de 61.37°. Este punto indica la máxima fuerza de rotación que el motor puede generar a un rpm específico y un ángulo de giro específico. Es un indicador importante de la capacidad de tracción y la capacidad de carga del motor (Taípe-Defaz et al, 2021).

A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados para el Biodiesel.

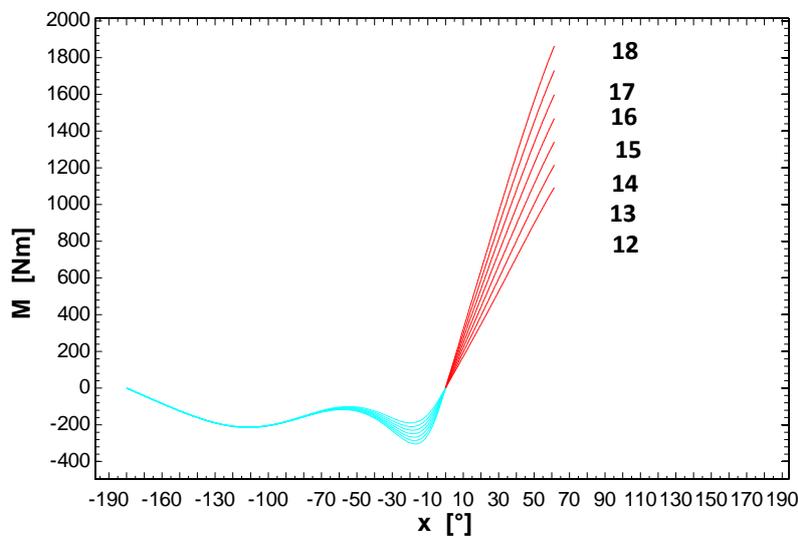
**Tabla 3.**

*Resumen de variables torque y potencia obtenidas para el Biodiesel*

Nº	rpm	Torque máx. (N.m.)	Torque total (N.m.)	Potencia efectiva (kW)
1	1600	1560.49	4681.47	772.13
2	1800	1535.22	4605.66	853.20
3	2000	1506.97	4520.91	931.54
4	2200	1475.75	4427.25	1004.53
5	2400	1441.56	4324.68	1068.53
6	2600	1404.40	4213.20	1128.90
7	2800	1364.26	4092.78	1181.20

**Caracterización por la variación en la relación de compresión**

Finalmente, en lugar de variar los regímenes (fijamos 2800 rpm), variamos la relación de compresión y se obtiene la siguiente figura:



**Figura 6.** Comportamiento del Torque Vs Ángulo de giro a diversas  $\epsilon$ .

En la siguiente Figura 6 se observa cómo cambia la forma de las curvas de torque a diferentes relaciones de compresión. A medida que se aumenta la relación de compresión, se ve un aumento general en el torque en toda la curva. Esto se debe a una mejor eficiencia térmica y mecánica del motor debido a la mayor compresión del aire antes de la combustión. Además, podemos resaltar que en la figura se

observa cómo la relación de compresión influye en el ángulo de giro en el que se alcanza el torque máximo. Una relación de compresión más alta podría llevar a que el torque máximo se alcance a un ángulo de giro diferente en comparación con una relación de compresión más baja. Esto se debe a las diferencias en la cinemática y la termodinámica del ciclo de trabajo del motor (Susa et al. 2020).

### Conclusiones

Se realizó un análisis profundo sobre motores MEC, sobre las fórmulas teóricas, antecedentes y las propiedades de los combustibles utilizados en este trabajo, logrando determinar el torque y la potencia efectiva que realiza el motor satisfactoriamente.

Se compararon los resultados obtenidos, y podemos decir que al usar el biodiesel convencional obtenemos mayores valores de torque (1663.95 N.m.), pero estos valores no son muy alejados respecto a los obtenidos cuando se usa biodiesel de aceite de soja (1560.49 N.m.).

La potencia efectiva es mayor cuando empleamos el Diesel convencional (1306.29 kW), a comparación de biodiesel de aceite de soja (1181.20 kW), demostrando así que el biodiesel tiene un potencial un tanto menor que el combustible convencional.

Se concluye que, si bien el desempeño del biodiesel de aceite de soja en los motores MCI es un poco menor al desempeño del diésel convencional, esto compensa con su potencial para reducir la contaminación ambiental, ya que al usar biodiesel reducimos las emisiones y cuidamos el planeta.

### Referencias

Andara, R. (2020). Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos. *Tordesillas, Revista de Investigación Multidisciplinar*, 17, 111-125. <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.111-125>

Bari, S., & Hossain, S. (2019). Performance and emission analysis of a diesel engine running on palm oil diesel (POD). *Energy Procedia*, 160, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.123>

Benavides C., I. B. & Chávez E., A. A. (2019). *Medición de gases de escape en motores mec con biodiésel a base de piñón*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9232>

Santivañez A., L. M. (2016). Evaluación experimental del consumo de combustible y las emisiones gaseosas de un motor diesel utilizando 3 mezclas de diesel y biodiesel: DB5, DB7, 5 y DB10. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7035>

Quiros C., M. C. (2022). Estudio analítico de las rutas de conversión para la producción de biodiésel a partir de aceite extraído de palma africana (ELAEIS GUINEENSIS JACQ.). <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5510>

Díaz-Barrios, S., & Pérez-Acosta, O. G. (2021). *Use of Biodiesel in Internal Combustion Engines for Livestock Activities*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93266354007>

García-Sánchez, G. F., Chacón-Velasco, J. L., Chaves-Guerrero, A., & Lopez-García, A. F. (2018). *Estudio analítico y experimental del desempeño de motores diésel alimentados con bio-oil hidrotratado*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756965012>

Henao-Castañeda, É., Romero-Piedrahíta, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). *Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553762533017>

Colmenares, M., & Jeraldine, Y. (2019). Propuesta técnica para la producción de biodiesel a pequeña escala a partir de aceites usados dentro del campus de la Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2067>

Barrera F., O. J. (2018). Evaluación termodinámica de la operación de un motor diésel KOHLER KDI 2504m empleando mezclas biodiesel-diésel en ASPEN HYSYS. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/671>

Marcos, R., Olivera, L., Sivipaucar, C., Cubas, J., & Valderrama, A. (2019). *Análisis del proceso de combustión de las mezclas de petróleo diésel 2 con biodiesel de soya, algodón y girasol en cocinas no convencionales*. CEDIT.

[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev\\_cedit/2007\\_V02/pdf/a03v2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2007_V02/pdf/a03v2.pdf).

Menaca, R., & Bedoya-Caro, I. D. (2022). *Una revisión del uso del hidrógeno en motores de encendido por compresión (diésel) y un análisis de su posible uso en motores duales en Colombia*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553773616004>

Mafla Y., C. N. (2021). Modelado y análisis computacional del conjunto móvil de un motor de combustión interna alimentado con diésel y biodiésel. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10906>

Alcántara Y., L. R. (2020). Rediseño del portafiltro de aire para mantener la performance del motor Toyota 14B en condiciones críticas de explotación. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3010>

Rodríguez, R. P., Sierens, R., Verhelst, S., & Frontela, N. F. (2008). *Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115162005>

Romero-Piedrahita, C. A., & Mejía-Calderón, L. A. (2022). Evaluación del desempeño de un motor-generator que utiliza GLP de alto contenido de butano como combustible. *Revista UIS Ingenierías*, 21(1). <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n1-2022012>

Sharma, S., Kundu, A., Basu, S., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Sustainable environmental management and related biofuel technologies. *Journal Of Environmental Management*, 273, 111096. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111096>

Susa, D. A. H., Samtaella, J. R. B., & Álvarez, C. E. C. (2020). Análisis del desempeño de la potencia y el torque de un motor diésel operando con mezclas de biodiésel de palma. *Ingeniería*, 25(3), 250-263. <https://doi.org/10.14483/23448393.15676>

Taipe-Defaz, V. A., Cedeño, E. A. L., Morales-Bayetero, C. F., & Checa-Ramírez, A. E. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *INGENIUS*, 26, 17-29. <https://doi.org/10.17163/ings.n26.2021.02>

Tobío-Pérez, I., Melo-Espinosa, E. A., Suárez-Hernández, J., Sotolongo-Pérez, J. Á., & Piloto-Rodríguez, R. (2018). *Evaluación de mezclas de biodiésel de *Jatropha curcas* (L.) en bancos de motores diésel*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269158220010>