

# Eficiencia y emisiones del motor de combustión interna de encendido por compresión impulsado por aceites vegetales

Efficiency and emissions of the compression-ignition internal combustion engine powered by vegetable oils

Nury Sanchez Hernandez<sup>1</sup> y Abdel Galvez<sup>2</sup>

Recibido: 29/02/2024 y Aceptado: 11/07/2024  
ENERLAC. Volumen VIII. Número 1. Junio, 2024  
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522(digital)



---

1.- MAN ENERGY SOLUTIONS, Alemania  
Regional Sales Manager (LATAM) (Retrofits & Upgrades)  
nury\_lizbeth@yahoo.com

2.- Sinergia Ingenieria, S.A.  
Managing Director  
abdel.galvez@gmail.com



## Resumen

Las nuevas estrategias energéticas que tienen los diferentes países a nivel mundial suponen un reto e impulso para las industrias y los investigadores, obligándolos a encontrar nuevas soluciones para satisfacer la demanda energética atendiendo las nuevas demandas ambientales. El uso de aceites vegetales y aceites de cocina usados se ha estudiado últimamente como combustibles alternativos para motores diésel en algunas aplicaciones como el transporte, la generación de energía, la propulsión híbrida o marina. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), tiene como objetivo limitar el calentamiento global a 1,5 °C, para lograr esta tarea, se requerirían transiciones “rápidas y de gran alcance” en tierra, energía, industria, edificios, transporte y ciudades. Las emisiones netas globales de CO<sub>2</sub> producido por el hombre tendrían que reducirse en un 45% para 2030 con respecto a los niveles de 2010, y continuarían disminuyendo hasta alcanzar el “cero neto” alrededor de 2050. Hay que tener en cuenta que los aceites vegetales se pueden producir en casi todas partes en plantas relativamente pequeñas y en cuanto a los aceites de cocina usados, estaríamos contribuyendo con el uso de un material de desecho que debe ser eliminado. El presente trabajo se centrará en una revisión bibliográfica de artículos científicos, así como de literatura de relevancia para el tema estudiado buscando enfocarse en las soluciones que presenta el mercado utilizando motores de combustión interna cuyo combustible es a base de aceites vegetales.

**PALABRAS CLAVE:** Generación de energía, Biocombustibles, Aceites Vegetales, Motores de Combustión Interna (CI) de encendido por compresión, SVO (Aceite Vegetal Puro), WCO (aceite de cocina usado), HVO (Aceite Vegetal Hidrogenado).

93

## Abstract

*The new energy strategies that different countries have worldwide entail a challenge and impulse for industries and researchers, forcing them to find new solutions to meet energy demand by meeting new environmental demands. The use of vegetable oils and used cooking oils are studied lately as alternative fuels for diesel engines in some applications such as transportation, power generation, hybrid or marine propulsion. The United Nations (UN), aims to limit global warming to 1.5 °C, to achieve this task, would require “rapid and far-reaching” transitions in land, energy, industry, buildings, transport and cities. Global net emissions of man-made CO<sub>2</sub> would have to be reduced by 45% by 2030 from 2010 levels, and continue to decline until reaching “net zero” by about 2050. Keep in mind that vegetable oils can be produced almost everywhere in relatively small plants and as for used cooking oils, we would be contributing with the use of a waste material that must be eliminated. The present work will focus on a bibliographic review of scientific articles, as well as literature of relevance to the subject studied seeking to focus on the solutions presented by the market using internal combustion engines whose fuel is based on vegetable oils.*

**KEYWORDS:** Power Generation, Biofuels, Vegetable Oils, Compression-Ignition Internal Combustion, Engines (IC), SVO (Straight Vegetable Oil), WCO (Waste Cooking Oil), HVO (Hydrogenated Vegetable Oil).

# 1. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles líquidos son conocidos desde el comienzo de la revolución industrial. Biocombustibles se derivan de un material biológico y puede ser producido desde cualquier fuente de carbón, usualmente plantas, pero también las hay de origen animal. Las fuentes típicas de biocombustible líquido probadas son aceites de varias semillas aceiteras, tales como el aceite de palma, estearina de palma, aceite de colza, aceite de girasol y aceite de jatropha (piñón) también como aceites no vegetales y grasas del pescado, aves de corral y animales terrestres. Biocombustibles líquidos altamente refinados, como los producidos a través de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales son también aprobados en motores de combustión interna. Es en el sistema de alimentación de combustible donde las mayores investigaciones para la mayoría de los motores de velocidades medianas toman lugar.

Las plantas de motores que operan con biocombustible líquido nacen como una alternativa para suplir de una energía estable a la red, ya que algunas soluciones de energía limpias como la generación solar y eólica que dependen directamente de las condiciones climáticas del momento.

Los aceites vegetales usados contienen sólidos y ácidos grasos libres debido a la descomposición del aceite durante el proceso de fritura. Los residuos de aceite usados se vuelven dañinos para el medio ambiente, como contribución a este remedio, la recuperación se convierte en una necesidad.

(Tadashi Murayama, 1995) La utilización de biocombustibles en motores diésel no es una práctica reciente. El motor Diesel original que Rudolph Diesel diseñó funcionaba con aceite vegetal. Usó aceite de maní para alimentar uno de sus motores en la Exposición de París en 1900. En 1911, el Dr. Rudolf Diesel fue citado diciendo: "El motor Diesel puede ser alimentado con aceites vegetales y ayudaría considerablemente en el desarrollo de la agricultura de los países que lo utilizarán".

# 2. ANTECEDENTES

Motivados por el crecimiento de la población, la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y por el deterioro ambiental, se ha impulsado el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos renovables y menos contaminantes, como la luz solar, las mareas, el agua y la biomasa.

El uso de aceite vegetales para el funcionamiento de los motores de combustión interna es un área en la que se sigue desarrollando investigaciones, a pesar de que su uso ha venido de los años 1900. Es importante conocer las propiedades de los materiales de las piezas que están confeccionados

estos motores y su comportamiento cuando se exponen a las variaciones del aceite vegetal.

Los aceites vegetales se pueden obtener a partir de más de 300 especies vegetales. El hecho de que también se pueda reciclar a partir de la transformación del aceite vegetal usado ha cobrado fuerza ante la necesidad de descartar este aceite, procedente principalmente de negocios de comida frita.

Uno de los datos más relevantes en la historia es que en la década de los 70, muchos países desarrollados enfrentaron una crisis en el

suministro de combustibles derivados del petróleo. Esto desencadenó que se despertara el interés nuevamente por la búsqueda de combustibles alternos.

### **¿Por qué es importante hacer esta investigación?**

Es importante dado que hoy en día tenemos problemas mundiales tanto de calentamiento global, como dependencia del petróleo el cual es controlado por países en específico. Tener el conocimiento de que elementos que son de uso diario y doméstico pueden ser reciclados y aprovechados como fuente de alimentación para motores de combustión nos permite ahorros económicos y reducción en la contaminación

del medio ambiente. El proceso de obtener aceite vegetal también es menos complejo que el del petróleo, lo que permite que países no desarrollados puedan producir su biocombustible y se podría buscar una independencia del monopolio de combustibles fósiles que se tiene.

## **3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

95

### **3.1 Objetivo General:**

---

- Reconocer la eficiencia y emisiones del motor de combustión interna de encendido por compresión (MEC) impulsado por aceites vegetales.

### **3.2 Objetivos Específicos:**

---

- Explorar los métodos de uso de aceite vegetal en el motor de combustión: Aceite vegetal directamente empleado (SVO), Uso de aceites residuales de cocina (WCO) y Aceite vegetal hidrogenado (HVO).
- Comparar la eficiencia del motor de combustión impulsado por aceites vegetales versus similares impulsados a diésel.
- Presentar los aspectos relacionados al mantenimiento y ciclo de vida del motor de combustión impulsado con aceites vegetales.
- Mostrar los retos de la temperatura sobre la viscosidad del aceite vegetal y el combustible diésel en el encendido del motor.
- Estudiar el impacto de los aceites vegetales en los motores desde el punto de vista de combustión y control de emisiones

## 4. MOTOR DE COMBUSTIÓN IMPULSADO POR ACEITE VEGETALES ENFOQUE GENERAL.

Los biocombustibles de primera generación para motores diésel se producen a partir de aceites vegetales. Las fuentes de energía renovables y alternativas son cada vez más exigentes y necesarias debido a los aumentos en los precios del petróleo crudo y las emisiones de gases de escape debido a los combustibles fósiles en todo el mundo. En segundo lugar, los biocombustibles producto de aceites vegetales, son renovables ya que las hortalizas que producen semillas oleaginosas se pueden plantar año tras año.

En tercer lugar, son “más verdes” para el medio ambiente, ya que rara vez contienen elementos de azufre en ellos. Esto hace que los estudios de combustibles vegetales se vuelvan actuales entre las diversas investigaciones populares.

Lo mismo ocurre con la evaluación del rendimiento de los motores diésel cuando se alimentan con aceites vegetales. Se han realizado varias investigaciones y los resultados de las pruebas han demostrado que los aceites vegetales son sustitutos factibles del combustible diésel. El principal problema del uso de aceites vegetales en motores diésel es la alta viscosidad de dichos combustibles. Los métodos químicos y térmicos son las dos técnicas para reducir la viscosidad de los aceites vegetales.

El método térmico utiliza el precalentamiento de los combustibles, lo que aumenta la temperatura y reduce la viscosidad. La mezcla de combustible tiene la ventaja de mejorar el uso del combustible de aceite vegetal con un procesamiento mínimo del combustible y sin modificaciones en el motor. Los aceites vegetales poseen casi los mismos valores caloríficos que el combustible diésel. Pero una gran desventaja de los aceites vegetales es su alta viscosidad inherente.

Los motores diésel modernos tienen sistemas de inyección de combustible que son sensibles a los cambios de viscosidad. La alta viscosidad puede conducir a una atomización deficiente del

combustible, a una combustión incompleta, a la coquización de los inyectores de combustible, a la carbonización del anillo y a la acumulación de combustible en los combustibles lubricantes.

Como lo afirma (Vrabie et al, 2016), las grasas y aceites (lípidos) consisten en 95-98% de triglicéridos. Los componentes menores presentes en los aceites incluyen ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, fosfolípidos, tocoferoles, esteroides, colorantes naturales, así como compuestos olorosos más o menos volátiles.

Los triglicéridos están compuestos por una molécula de glicerol esterificada con tres moléculas de ácidos grasos similares o diferentes. Una veintena de ácidos grasos se encuentran en la naturaleza y sus numerosas combinaciones posibles con las tres funciones alcoholílicas del glicerol producen una amplia variedad de triglicéridos y, por lo tanto, de aceites.

## 5. MÉTODOS DE UTILIZACIÓN DE ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLE:

### 5.1 Aceite vegetal directamente empleado (SVO)

---

El uso de aceites vegetales como combustible diésel depende de los precios del mercado mundial de los productos minerales y, por lo tanto, es de especial interés en la actualidad solo para los países con un gran exceso de producción de aceites vegetales. Es esencial medir tres parámetros característicos para garantizar que el combustible utilizado es realmente aceite vegetal puro y para confirmar el origen vegetal: densidad, viscosidad y valor de yodo.

La especificación de densidad es adecuada para excluir materiales distintos del aceite vegetal o para detectar mezclas de aceite vegetal con otros líquidos (productos derivados del petróleo, glicerol, etc.). La densidad de los aceites vegetales es ligeramente variable entre 900 y 960 kg/m<sup>3</sup>.

La viscosidad de los aceites vegetales directos (SVO) es mucho mayor que la del combustible diésel: aumenta con la longitud de la cadena de carbono. La alta viscosidad de SVO causa una disminución en la tasa de inyección debido a las pérdidas de presiones en las bombas de inyección de combustible, filtros e inyectores, la mala atomización del combustible y la vaporización por parte de los inyectores, lo que conduce a una combustión incompleta dentro de la cámara de combustión.

Esto da como resultado una menor eficiencia termodinámica y un aumento en las emisiones de hollín y las partículas. La viscosidad es un indicador rápido de la calidad del combustible antes de su uso, especialmente si la naturaleza de la materia prima no se conoce bien, o si el aceite podría haberse deteriorado o polimerizado durante el almacenamiento.

Gran cantidad de publicaciones indican que el uso de SVO reduce la vida del motor, a causa de una acumulación de depósitos de carbono dentro

del motor y también por los impactos negativos del SVO sobre el lubricante del motor. Tanto los depósitos de carbono como la acumulación excesiva de SVO en el lubricante son causadas por el alto punto de ebullición y la viscosidad del SVO cuando se compara con el punto de ebullición del combustible diésel.

Comparado con el combustible diésel, todos los aceites vegetales son mucho más viscosos, mucho más reactivos a oxígeno y tienen una mayor temperatura de enturbiamiento y punto de vertido. Los motores diésel con aceites vegetales ofrecen un desempeño y emisiones aceptables en el motor por periodos cortos. El uso a largo plazo genera problemas operativos y de durabilidad.

### 5.1.1 Impacto en la combustión del motor al usar aceites directamente (SV)

**Table 1.** Specifications and operating conditions of the diesel engine.

Model	QC385D
Method of starting	Electric
Type	Three cylinder, vertical water-cooled, four stroke
Cylinder diameter	85 mm
Piston stroke	90 mm
Nominal speed	1500 rpm
Rated power	11 kW
Loading method	Hydraulic loading
Engine load	0 to 24 N-m (0%–100%)
Cooling system	Forced water cooling
Fuel injection pressure	20 ± 0.5 MPa
Fuel filter	C0506 (single stage, paper element)
Lube oil	SAE-40
Lube oil filter	J0810 (single stage, paper element)

La alta viscosidad de los aceites modifica radicalmente los fenómenos asociados a la pulverización del combustible y por tanto el tiempo de combustión, ya perturbado por el bajo índice de cetano de estos aceites, muy por debajo del límite 51 impuesto por la norma Diesel EN 590.

Los aceites vegetales contienen cantidades significativas de oxígeno. Sus características de encendido son, por ejemplo, un mal arranque del motor en frío, fallos de encendido y retardo del encendido, y este último incluye una combustión incompleta. Los depósitos de carbón alrededor del orificio de la boquilla, las ranuras superiores del segmento del pistón y los segmentos del pistón son los principales problemas durante el uso de aceite vegetal como combustible.

Además, algunas de las dificultades mencionadas anteriormente se amplificarán aún más con las mejoras en las tecnologías de los motores diésel. El uso directo de aceites vegetales con tecnologías actualmente en desarrollo será cada vez más crítico.

Según (Sisi et al, 2020), se registraron las características de rendimiento y emisión de los combustibles SVO y se compararon con las del combustible diésel puro, este estudio presentado busca atender la demanda por combustible sustentable en la isla de Vanatu.

El par aplicado en el motor se mostró y registró en el software de monitoreo Dynosoft conectado a un transductor de celda de carga electrónica conectado a la unidad de dinamómetro. La configuración experimental, que se muestra en la Figura 1, consistía en un banco de pruebas del motor con tres fuentes de suministro de combustible que constaban de dos cilindros de 2000 ml y uno de 250 ml ubicados sobre el motor y que tenían tres válvulas de salida separadas.

**Table 4.** Kinematic viscosities of the fuels at different temperatures.

Temperature (°C)	Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s)				
	Diesel	CPO	VCO	TMO	NGO
37	4.15	29.78	29.80	61.29	49.78
45	3.51	23.54	24.12	44.01	36.91
55	3.14	21.63	19.21	35.03	27.66
60	2.84	16.20	16.61	27.91	23.55
66	2.51	13.58	13.20	22.88	19.78
73	2.27	11.47	11.58	19.65	16.90



En este estudio se emplea un motor QC386D con las siguientes características:

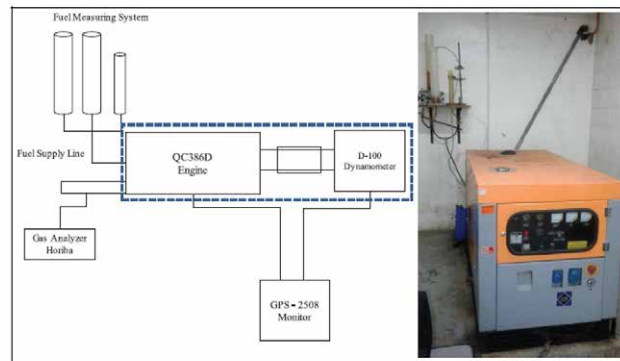


Figure 1. Schematic diagram of the experimental set-up showing the engine and the fuel supply sources (left) and a photograph of the engine along with the fuel supply sources (right).

Cuatro aceites vegetales diferentes: coco, coco virgen, Tamanu y Nangae se obtuvieron de Vanuatu. Los aceites de coco, tamanu y nangae se extrajeron de las nueces secas utilizando el método de prensado de tornillo, mientras que el aceite de coco virgen se extrajo del molino de copra que no se expuso a mucho calor.

Las plantas de Tamanu y Nangae no son comunes y las pruebas de los aceites de estas plantas como SVO contribuirán a los esfuerzos globales

para encontrar nuevos combustibles renovables. Los cuatro aceites anteriores se probaron como aceites vegetales directos por sus propiedades, así como por sus características de rendimiento y emisiones utilizando un motor diésel.

99

### 5.1.2 Metodología

En cada carga ajustada, se registraron lecturas de consumo de combustible en mililitros por segundo, propiedades de los gases de escape con el analizador de gases y los datos de rpm, potencia de frenado, temperatura de los gases de escape, temperatura ambiente, temperatura del aire de admisión, temperatura del refrigerante del motor, torque y presión de aceite que se mostraban en la computadora con el software Dynosoft. Combustibles SVO con la válvula de suministro de combustible diésel cerrada durante el proceso de lectura y registro.

Los combustibles diésel y SVO se utilizaron para impulsar el motor con una relación de compresión constante y rpm variables y se realizaron los análisis de rendimiento y emisiones. En cada prueba, se midieron las rpm, la potencia de frenado, el par, la

temperatura de los gases de escape y las emisiones de gases de escape, en particular monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre y oxígeno.

En cada condición de operación, se obtuvieron las características de rendimiento y los niveles de emisión de escape y se repitió el mismo procedimiento para otras cargas. La repetibilidad de las mediciones de emisiones de gases de escape fue del 61%.

Los resultados encontrados, según (Sisi et al), mostraron que la viscosidad cinemática de los SVO es más alta que el diésel, mientras que la densidad para TMO (tamanu oil) resultó ser la más alta de todos los aceites probados y fue aproximadamente un 10 % más alta que el diésel.

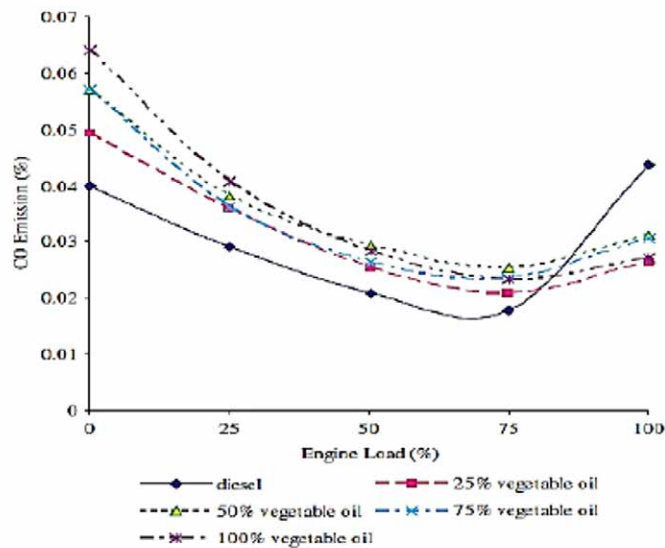


Fig. 5 Comparison of CO emission versus engine power output for different fuels/oil blends [4].

1000 El poder calorífico de todos los SVO es menor que el del diésel, lo que normalmente se debe al mayor contenido de oxígeno de los biocombustibles. Se puede ver que la viscosidad cinemática de todos los SVO disminuye significativamente cuando la temperatura se incrementó de 28 a 73°C. La

reducción de la viscosidad de los SVO fue mayor que la del diésel.

### 5.1.3 Impacto en las emisiones

Debido a la necesidad de adaptar el tiempo de combustión, el uso de aceites vegetales en los motores diésel generalmente conduce a un mayor nivel de Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburo (HC) y Materia Particulada (PM). En cambio, debido a su combustión más lenta y a las temperaturas más bajas en la cámara de combustión, los aceites vegetales reducen las emisiones de NOx. Las diferencias pueden aumentar con el kilometraje, la edad de la tecnología del motor y el grado de obstrucción del motor. También se han realizado experimentos sobre el uso de aceites vegetales en mezclas.

Según Vrabie et al, en su estudio se realizaron pruebas con mezclas 25/75 de aceite de girasol o cártamo en gasóleo. En el experimento, las pruebas se han llevado a cabo para evaluar el rendimiento y las características de emisión de gases de un motor diésel alimentado con aceite vegetal y sus

mezclas de 25%, 50% y 75% de aceite vegetal con combustible diésel ordinario por separado. Se selecciona un motor diésel de la serie Lister Petter T para el estudio y se monta en un banco de pruebas. El motor es del tipo TS2, de 9,5 KW de capacidad, régimen fijo, refrigerado por aire e inyección directa.

La Figura 5 muestra la comparación de las emisiones de CO de diferentes combustibles con diferentes cargas del motor. Dentro del rango experimental, las emisiones de CO del aceite vegetal y las mezclas de aceite vegetal y diésel son casi todas más altas que las del combustible diésel puro. Solo en el punto de plena carga del motor, las emisiones de CO<sub>2</sub> del aceite vegetal y de las mezclas de aceite vegetal/com Combustible diésel fue inferiores a las del combustible diésel.

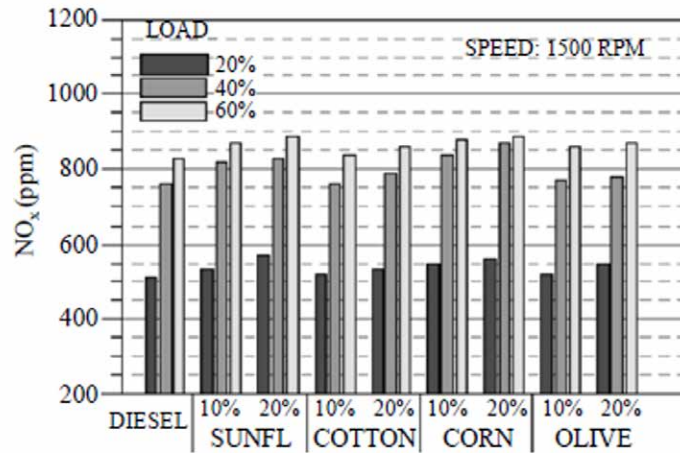


Fig. 7 Emissions of nitrogen oxides ( $NO_x$ ) for neat diesel fuel, and the 10% and 20% blends of the four vegetable oil with diesel fuel [36].

Esto se debe posiblemente a dos factores:

- Primero, a plena carga del motor, la temperatura en el cilindro del motor es más alta, lo que hace que el aceite vegetal y se mezcle sea más fácil de atomizar, se puede lograr una mejor mezcla de aire / combustible y luego una mejor combustión;
- Segundo, el contenido de oxígeno en el aceite vegetal hace que sea más fácil quemarlo a mayor temperatura en el cilindro.

En el rango de carga total del motor, las emisiones de  $CO_2$  del combustible diésel son más altas que las de los otros combustibles, según se puede apreciar en la figura No. 6. Esto se debe a que el aceite vegetal contiene el elemento oxígeno; el contenido de carbono es relativamente menor en el mismo volumen de combustible consumido al mismo tiempo carga del motor, en consecuencia, las emisiones de  $CO_2$  del aceite vegetal y sus mezclas son menores.

101

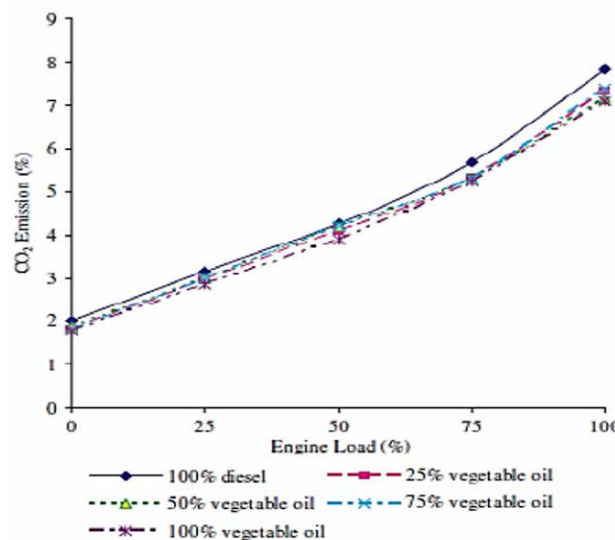


Fig. 6 Comparison of  $CO_2$  emission versus engine power output for different fuels/oil blends [4].

Las emisiones de HC del aceite vegetal y las mezclas de combustible diésel y vegetal son más bajas que las del combustible diésel, excepto que el 50 % del aceite vegetal con la mezcla de

combustible diésel al 50 % es un poco más alta que la del combustible diésel.

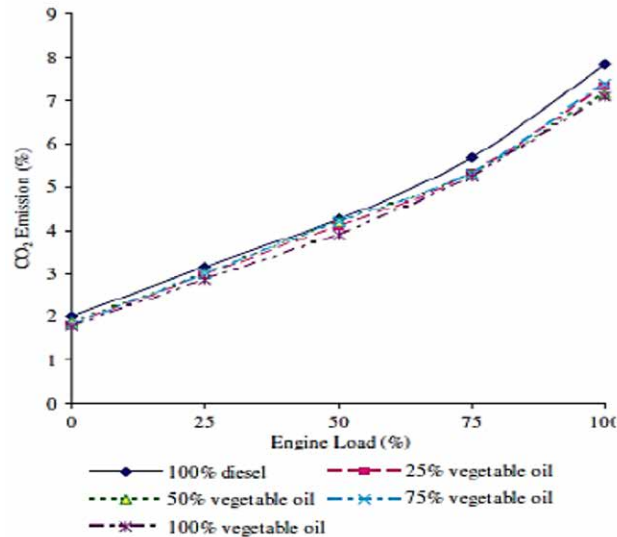


Fig. 6 Comparison of CO<sub>2</sub> emission versus engine power output for different fuels/oil blends [4].

## 5.2 Uso de aceites residuales de cocina (WCO)

A medida que las fuentes de combustibles fósiles convencionales no renovables se agotan día a día, los investigadores están continuamente encontrando nuevas formas de producir y utilizar combustibles alternativos, renovables y confiables. Debido a las tecnologías convencionales, el medio ambiente se ha degradado gravemente, lo que afecta profundamente la vida en la tierra. Para reducir las emisiones causadas por el funcionamiento de los motores de encendido por compresión, el biocombustible producto aceite de cocina usado (WCO) es uno de los mejores combustibles alternativos disponibles localmente en todas partes del mundo.

Se revisan diferentes resultados del estudio con un claro enfoque en las características de combustión, rendimiento y emisiones, y el impacto en la durabilidad del motor. Además, los impactos ambientales y económicos también se revisan en este estudio. Al determinar las características de combustión del biocombustible de WCO, el valor de presión máxima del cilindro aumenta y la tasa

de liberación de calor y el período de retardo de ignición disminuyen.

En las características de rendimiento, el consumo de combustible específico del freno aumenta mientras que el consumo de energía específico del freno, la potencia de frenado y el par disminuyen. Reducción del biocombustible de WCO el valor de las emisiones en un 85% debido a la disminución de las emisiones de hidrocarburos, SO<sub>2</sub>, CO y humos de escape que salvarán efectivamente el medio ambiente. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> generalmente aumentan en comparación con el diésel. Desde la perspectiva del impacto económico general de la producción en la utilización de este recurso, el uso de este biocombustible es económicamente viable debido a la disponibilidad esperada, el bajo costo de procesamiento y ninguna modificación requerida en el diseño o la estructura de la compresión - ignición de los motores.

De acuerdo a lo expuesto por (Yacoob et al, 2021), WCO no se usa directamente en el motor de

encendido por compresión debido a la diferencia de viscosidad y número de cetano. Sin embargo, otras propiedades también varían del diésel de petróleo. En general, el calor de combustión, el índice de cetano, la viscosidad y los puntos de fusión de los ácidos grasos disminuyen con la insaturación y aumentan con la longitud de

la cadena. Los hallazgos significativos de las propiedades fisicoquímicas del aceite de cocina usado se analizan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas del biocombustible de aceite de cocina usado mezclado con combustible diésel en motores diésel.

Tópico	Hallazgo
Número de Cetano	<p>El tiempo de retardo de encendido y la calidad de combustión del diésel son generalmente medidos por número de cetano.</p> <p>Un mejor combustible diésel tiene valores de número de cetano más altos. Asegura una mejora en el arranque en frío y reduce la formación de humo blanco.</p>
Viscosidad	<p>Debido a la alta viscosidad del biocombustible de los WCO, las mezclas de diésel son más viscosas que el diésel de petróleo. Por lo tanto, hasta el 20% de un biocombustible se recomienda la mezcla para motores CI sin modificaciones.</p> <p>La viscosidad cinemática es la clave para determinar el régimen de inyección de combustible medido por la atomización del combustible. La viscosidad por encima del límite reduce la cantidad de combustible atomizado antes de la combustión.</p> <p>La viscosidad de los WCO también se puede reducir mezclándola con n-propanol.</p> <p>La alta viscosidad del biocombustible disminuye el coeficiente de descarga, la masa caudal y velocidad de inyección. Para compensar estos factores, el biocombustible se coloca a una temperatura de inyección más alta de aproximadamente 60 K que el diésel de petróleo.</p> <p>Debido a la alta viscosidad, la profundidad de penetración del biocombustible en el cilindro aumenta pero reduce la atomización durante la inyección.</p>
Densidad	<p>Los motores de CI pueden producir más potencia con combustible más denso, pero el hollín y las emisiones también aumentan para los combustibles de alta densidad.</p>
Valor Calorífico	<p>El poder calorífico del biocombustible de los WCO es aproximadamente un 12% más bajo que el diésel debido al oxígeno presente en su molécula, lo que también reduce la eficiencia térmica del motor alimentado por biodiésel en comparación con el petróleo motor diésel.</p>
Longitud de Líquido	<p>La longitud del líquido o la profundidad de penetración del biodiésel es mayor que la del diésel de petróleo debido a la alta viscosidad.</p>

Hay muchas formas de procesar el aceite de cocina usado (WCO), entre ellos los métodos de hidrólisis, esterificación y el de transesterificación. Este tratamiento hace que los WCO sean más compatibles con motores de encendido por compresión modificando las propiedades fisicoquímicas. Estas propiedades modificadas

afectan las características de pulverización del combustible, transformándose las características de combustión cuando se quema en el motor.

### 5.2.1 Características de la combustión

---

Según los resultados expuestos por (Yaqoob et al, 2021), en sus investigaciones, la presión del cilindro es uno de los factores críticos que determinan el rendimiento del motor, ya que se utiliza para calcular cuánto trabajo se transfiere de los gases quemados al pistón. La presión del cilindro se mide usando algunos sensores de desplazamiento sofisticados y medidores de tensión. Se mide en términos de la presión efectiva media indicada (IMEP), que es la relación entre la producción de trabajo y el volumen de barrido del motor o la presión máxima del cilindro (CPP). El retardo de encendido se define como el período entre el inicio de la inyección de combustible y el inicio de la combustión, que es uno de los parámetros fundamentales para cuantificar la combustión.

El retardo de ignición (ID) se define como el período comprendido entre el inicio de la inyección de combustible y el inicio de la combustión, que es uno de los parámetros fundamentales para cuantificar la combustión.

El período ID prolongado corresponde a la intensidad de la tasa de liberación de calor de la fase de combustión premezclada, ya que la cantidad de mezcla de aire y combustible aumenta con el tiempo. El ID limita el rango de operación y combustión del motor de CI. Un período de ID prolongado puede provocar una temperatura y una presión muy altas en el interior del cilindro al final de la carrera de compresión. Una vez que finaliza el período de retardo de encendido, el proceso de combustión comienza a partir de la tasa de liberación de calor, que cambia de negativo a positivo con un ángulo de manivela.

El efecto de una rata de liberación de calor (HRR) más alta en la fase de combustión premezclada para las mezclas de biocombustible de WCO se observa en forma de presión de cilindro alta. Valor de HRR y las mezclas posteriores, aunque la presión del cilindro suba en su caso.

### 5.2.2 Características de desempeño

---

Debido a la alta viscosidad de los biocombustibles WCO, las mezclas también se vuelven más viscosas que el diésel puro, lo que afecta la atomización del combustible durante la inyección y perturba la pulverización prolongada, reduciendo el torque del motor. Las características del rociado juegan un papel importante en el rendimiento del motor y las emisiones de escape., algunos de los combustibles pueden requerir ligeras modificaciones en el diseño del motor, como el diseño de la caja del pistón, debido a las diferencias en las características de pulverización e inyección. Todas estas mejoras pueden mejorar la salida del par motor para los combustibles combinados con biocombustibles de WCO.

La potencia de frenado se reduce al usar la mezcla de biocombustible de WCO en comparación con el diésel de petróleo. Esto se debe al pequeño poder calorífico del estos. El BSFC (Brake-specific fuel consumption) se define como la cantidad de

combustible consumido para producir una unidad de potencia, que es una medida del rendimiento económico del motor. Usando B100, el BSFC de un motor diésel es relativamente más alto que usando combustible B0.

El valor BSFC disminuye al aumentar la carga del motor porque se reduce la pérdida de calor. El consumo de energía específico del freno es otro factor valioso para observar combustibles de diferentes valores caloríficos en un motor de CI. Los hallazgos significativos, expuestos por (Yaqoob et al, 2021), de las características de rendimiento del aceite de cocina usado en un motor diésel se analizan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Características de rendimiento del biocombustibles de aceite de cocina usado mezclado con combustible diésel en motores diésel.

Tópico	Hallazgo
Potencia de frenado	<p>A relaciones de compresión (CR) más altas, el valor de BP disminuye para una mezcla más altaproporciones a medida que la energía se convierte de química a mecánica. En CR 21, BP para diésel y B40 es de 2.12 kW y 2.07 kW, respectivamente.</p> <p>Se observa un BP máxima para que la proporción menor de biocombustible de B5 sea 7,9 kW y 5,5 kW para combustible B100.</p> <p>La potencia del motor se reduce en 6, 8 y 10 kW para mezclas B20, B70 y B100.</p>
Brake-specific fuel consumption (BSFC)	<p>El consumo específico de combustible de la mezcla B40 es menor que el de todas las demás mezclas en las relaciones de compresión de 20 y 21. Su valor para la mezcla B40 en la relación de compresión de 21 es de 0,259 kg/kWh, mientras que para el diésel es 0,314 kg/kWh, que puede deberse a la viscosidad, densidad o cociente de combustibles.</p> <p>A la BP máxima, el valor de consumo de combustible específico del freno (BSFC) para B100 es 0,35 kg/kWh, mientras que el 100% de gasóleo (B0) muestra 0,27 kg/kWh. _ El valor de BSFC es de 0,28, 0,30 y 0,31 kg/kWh para B0, B10 y B20, respectivamente.</p> <p>Con el par máximo y la potencia nominal, el BSFC aumenta hasta un 8,5%.</p>
Break thermal efficiency (BTE)	<p>La eficiencia térmica del freno (BTE) es directamente proporcional a la compresión y para las mezclas de diésel, su valor puede ser más alto que el diésel de petróleo.</p> <p>El valor de BTE para diésel, B10 y B20 a plena carga es de 31.2%, 31.8% y 31.6%, respectivamente.</p> <p>Para la relación de compresión de 21, el BTE de la mezcla B40 llega a un máximo del 31,48%, mientras que es del 26,08% para las mismas condiciones utilizando diésel puro.</p>
Eficacia Mecánica	<p>En general, la eficiencia mecánica (ME) es directamente proporcional al CR para todas las mezclas. Su valor máximo para la mezcla de B40 en CR 21 es del 52,53%, que es ligeramente mayor que el del diésel de petróleo, y para el diésel puro es de alrededor del 49,5%.</p>
Temperatura de Gas de escape	<p>Cuando el CR es bajo, por ejemplo, 18, el EGT de las mezclas es alto en comparación con el diésel estándar. Cuando la RC es alta, por ejemplo, 21, el EGT para las mezclas de biocombustibles de WCO es más bajo que el diésel de petróleo.</p> <p>Para B40, la temperatura máxima es de 200,61 _C y 233,48 _C para el diésel de petróleo.</p> <p>La potencia máxima obtenida a 50–55 rpm y EGT para el biocombustible de WCO resultó ser de 552 _C, y para el diésel de petróleo, 585 _C, que es un 5.6% más bajo para las mezclas de WCO que diésel de petróleo.</p>
Torque del motor	<p>A 1600 rpm y potencia máxima, el combustible B5 da aproximadamente 2 Nm más de torque que el diésel de petróleo. Para B100, B70 y B20, el torque cae alrededor de 38.7, 32, y 19,7 Nm en comparación con el diésel de petróleo, respectivamente.</p> <p>El valor de BTE para diésel, B10 y B20 a plena carga es de 31.2%, 31.8% y 31.6%, respectivamente.</p> <p>Para la relación de compresión de 21, el BTE de la mezcla B40 llega a un máximo del 31,48%, mientras que es del 26,08% para las mismas condiciones utilizando diésel puro.</p>

El resumen de la investigación muestra que el torque motor, BP (brake power) y BSEC (brake-specific energy consumption) disminuyen al usar estos biocombustibles y mezclas, y el valor BTE

(Brake thermal efficiency) disminuye o aumenta según condiciones de funcionamiento, como la presión de inyección y la geometría de la boquilla de pulverización.

### 5.2.3 Características de las emisiones

---

La cantidad de Hidrocarburo (HC) no quemado en el escape depende del máximo de aire y combustible dentro del cilindro del motor. La mayor demora en el encendido también puede causar una alta emisión de HC a medida que el combustible se acumula en la cámara de combustión. La cantidad de emisiones de HC disminuye para las proporciones más altas de las mezclas de biocombustibles de WCO en todas las cargas del motor debido al mayor contenido de oxígeno y al mayor índice de cetano. La menor emisión de HC asegura que la combustión sea perfecta con una buena atomización del combustible.

En el artículo publicado por Yaqoob et al, se informa sobre el descubrimiento de que las emisiones totales de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el motor EURO II eran menores cuando se usaba biocombustibles de WCO. El motor EURO IV no mostró un cambio significativo en las emisiones de PAH y PCDD/F (polychlorinated dibenzo-p-dioxins y dibenzofurans).

La cantidad de CO en las emisiones del motor está directamente relacionada con las propiedades fisicoquímicas del combustible, como la temperatura máxima dentro del cilindro del motor, la relación aire-combustible, el tiempo disponible para la combustión completa y la disponibilidad de oxígeno a alta velocidad del motor. Sin embargo, la mayor viscosidad de las mezclas de WCO generalmente aumenta las emisiones de CO debido a la menor atomización en los motores no modificados.

Con cargas más bajas, la emisión de CO es incluso menor que la del diésel, pero aumenta con las cargas más altas. La emisión de CO<sub>2</sub> depende principalmente de la relación de compresión y la temperatura de los gases de escape. A una tasa de compresión (CR) más baja, el contenido de emisiones es alto debido a una combustión adecuada. La cantidad de NO<sub>x</sub> aumenta al aumentar la carga del motor, independientemente del combustible que se utilice.

La temperatura máxima del cilindro está

directamente relacionada con la temperatura adiabática de la llama, que controla la tasa de emisión de NO<sub>x</sub>. La reducción de la emisión de óxidos de nitrógeno es uno de los principales objetivos de los investigadores de motores. Generalmente, la emisión de NO<sub>x</sub> aumenta con un aumento en CR. La cantidad de humo en las emisiones de escape del motor se debe a la combustión incompleta del combustible, y los motores con menor emisión de humo son signos de una buena combustión del combustible.

La emisión de humo aumenta con el aumento de la potencia de salida debido a que se quema más combustible dentro del motor, aplicado a todos los combustibles. A 0 km, el motor B20 mostró emisiones de HC, PM y CO más bajas que el motor B. El efecto de las propiedades físicas y químicas transformadas también se observa en las características de emisión del combustible.

Para resumir las características de las emisiones, se puede decir que las emisiones de biocombustibles de WCO se reducen y tienen un impacto positivo en el medio ambiente mediante la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.



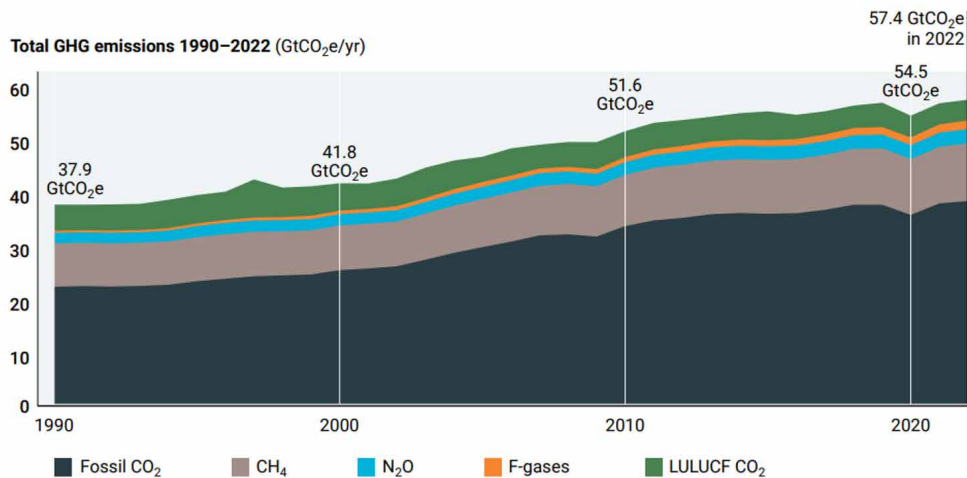
## 5.2.4 Impactos ambientales

Las emisiones globales de GEI registraron un record de 54,4 GtCO<sub>2</sub> en 2022. Según las Naciones Unidas en su informe de Brecha de Emisiones de 2023, las emisiones mundiales de GEI aumentaron un 1,2% de 2021 a 2022 hasta alcanzar un nuevo récord de 57,4 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>e) (figura ES.1). Todos los sectores, excepto el transporte, se han recuperado plenamente de la caída de las emisiones inducida por la pandemia de COVID-19 y ya superan los niveles de 2019. Las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales fueron los principales contribuyentes al aumento general, representando alrededor de dos tercios de las emisiones actuales de GEI. Las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y gases fluorados (gases F), que tienen un mayor potencial de calentamiento global

y representan aproximadamente una cuarta parte de las emisiones actuales de GEI, están aumentando rápidamente: en el V Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023: Récord Batido 2022, las emisiones de gases fluorados crecieron un 5,5 %, seguidas de las de CH<sub>4</sub> con un 1,8 % y de N<sub>2</sub>O con un 0,9 %. Según las primeras proyecciones, las emisiones netas mundiales de CO<sub>2</sub> por el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) se mantuvieron estables en 2022. Las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> del UTCUTS siguen teniendo las mayores incertidumbres de todos los gases considerados, tanto en términos de sus cantidades absolutas como de sus tendencias (Division et al, 2023).

107

Figure ES.1 Total net anthropogenic GHG emissions, 1990–2022



De todos los recursos energéticos que contribuyen a la demanda mundial de energía, la porción de petróleo crudo es la más alta de todas. Los productos finales del petróleo crudo incluyen gas combustible, GLP, queroseno, gasolina, diésel, fuel oil y nafta. Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del diésel es de 87 g/MJ y el de los biocombustibles de WCO es de 13 g/MJ (Yaqoob et al, 2021).

Esto demuestra que los biocombustibles y mezcla de WCO provoca un 85 % menos de emisiones que el diésel. De acuerdo con Yaqoob et al, utilizando WCO como biocombustible, la contaminación se controla mediante la reducción de aguas residuales en un 79%, la reducción de desechos peligrosos en un 96%, la reducción de partículas en un 47% y las emisiones de HC en un 67%.

### 5.3 Aceite vegetal hidrogenado (HVO)

Por lo expuesto por (Hunicz et al, 2021) el aceite vegetal hidrogenado (HVO) es un diésel renovable que se puede producir a partir de varios aceites y grasas vegetales que contienen triglicéridos y ácidos grasos. El término HVO se utiliza para los combustibles diésel renovables derivados de la hidrogenación y el hidro craqueo de diferentes materias primas, como el aceite alto, el aceite de colza, el aceite de cocina usado y las grasas animales.

HVO también se conoce como ésteres hidro procesados y ácidos grasos (HEFA). En general, tiene propiedades químicas similares a las del diésel fósil. Algunas diferencias son que tiene una densidad y contenido de energía más bajos que el diésel fósil. HVO está libre de azufre, oxígeno e hidrocarburos aromáticos, y tiene un alto número de cetano. Hoy en día es la segunda alternativa de diésel renovable más grande del mundo y se mezcla con diésel fósil que se vende como mezclas en estaciones de servicio de combustible.

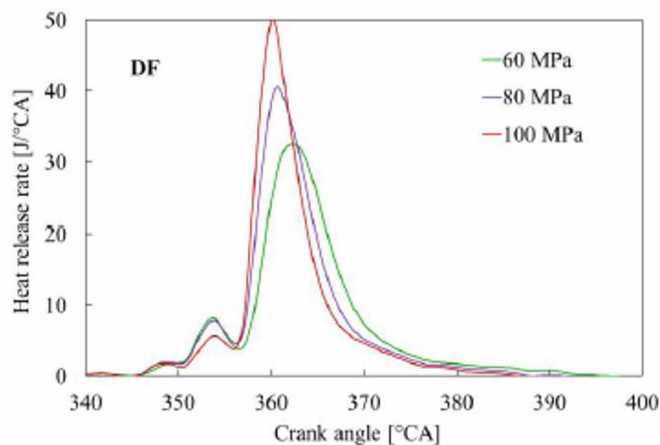
HVO tiene una composición química bastante similar al combustible diésel fósil y se puede utilizar como combustible renovable en vehículos con motor diésel existentes (puros o mezclados). HVO se considera un sustituto del diésel de alta calidad y, por lo tanto, a menudo se conoce como diésel renovable. HVO es un combustible diésel parafínico y se especifica en la norma EN 15940: 2016, que cubre los productos HVO y Fischer-Tropsch GTL hidro tratados que contienen hasta un 7,0 % (V / V) de éster metílico de ácidos grasos (FAME).

Las normas de combustible diésel, como EN 590 y ASTM D 975, se cumplen con altas relaciones de mezcla de HVO. Las normas de biodiésel (FAME) no son aplicables para HVO. HVO se mezcla hoy con diésel fósil y se vende en estaciones de servicio de combustible.

HVO también ha sido aprobado para ser utilizado como combustible de aviación (bio jet), basado en ASTM D7566-14. En 2011, se publicó una versión actualizada de la norma, que permite agregar hasta un 50% de componentes de base biológica (HVO) al combustible para aviones convencional. HVO es, por lo tanto, una alternativa importante en la implementación de combustibles de aviación renovables.

Las investigaciones de (Hunicz et al, 2021), presentan las características de combustión y emisión de un motor de encendido por compresión monocilíndrico contemporáneo alimentado con diésel, ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y aceite vegetal hidrotratado (HVO). Estos dos

combustibles directos tienen una participación cada vez mayor en las cadenas de suministro automotriz, pero tienen propiedades físicas y de autoignición sustancialmente diferentes. HVO tiene una viscosidad más baja y un mayor número de cetano, y FAME tiene características contrarias.



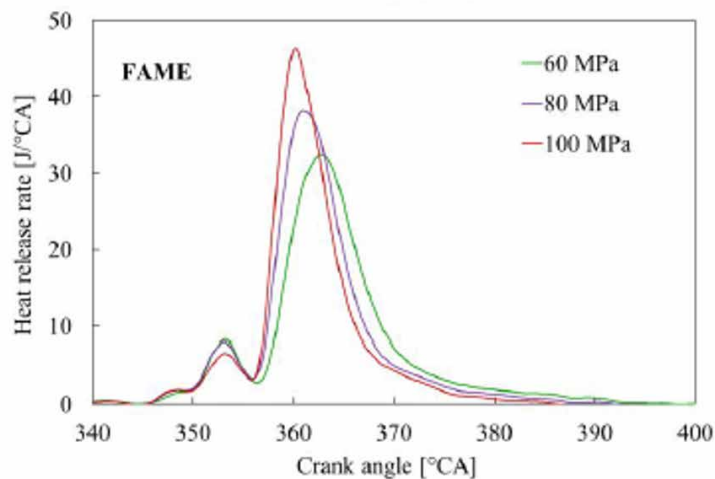
### 5.3.1 Efectos de los combustibles comparados en la combustión

A este respecto, es fundamental considerar las diferencias en la combustión como una fuerza impulsora de la formación de emisiones. Sin ningún análisis detallado, se puede observar que la combustión de los tres combustibles (FEME; HVO y DF) funciona de manera similar, sin embargo, solo si se considera la fase principal de combustión controlada por difusión. La insensibilidad está impulsada por la fenomenología del concepto de combustión multipulso realizado. Es decir, la combustión piloto principalmente premezclada, visible como los dos primeros picos característicos, HRR, actúa como cebador hacia la inyección principal.

El pulso de inyección principal se enciende instantáneamente después de llegar a la zona quemada caliente del piloto, ubicada cerca de las paredes de la cámara de combustión. El CN más alto de HVO se manifiesta en las características de encendido del piloto, que es notablemente diferente en comparación con DF y FAME. Cabe señalar que las características de combustión de FAME

y DF son muy similares. Sin embargo, es visible la combustión de combustible piloto ligeramente avanzada de FAME.

Una superposición de las características de combustión derivadas de la Fig 2. El CN (número de cetano) de los combustibles dan forma a la combustión piloto premezclada, que forma un desencadenante directo para la fase principal.



### 5.3.2 Efectos de la presión del combustible en la combustión

El análisis de la combustión de las secciones anteriores constituye la base para comprender la respuesta de los combustibles a los cambios en la presión de inyección. Esta respuesta no monótona de la combustión piloto a la presión de inyección indica que hay otro mecanismo involucrado. En la medida en que exista cierta ambigüedad en el efecto de la presión de inyección en la combustión piloto, la influencia de este parámetro de

calibración en la fase de combustión principal es transparente en la Fig. 3 para los 3 combustibles verificados.

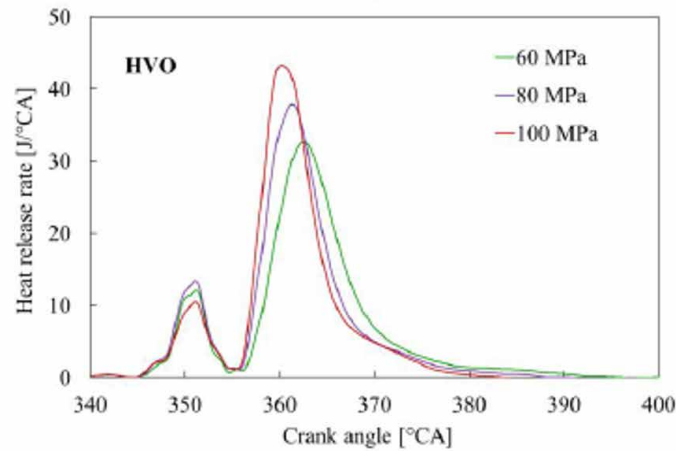


Fig. 3. HRRs for investigated rail pressures and for DF, FAME and HVO

Table 2. Parameters of the research engine

Type	AVL 5402
Configuration	Four-stroke, single-cylinder
Bore	85 mm
Stroke	90 mm
Displacement	510.5 cm <sup>3</sup>
Compression ratio	17:1
No. of valves	4
Combustion type	Direct injection
Max. fuel pressure	180 MPa
Injection system	Common rail CP4.1
Engine management	AVL-RPEMS, ETK7-Bosch

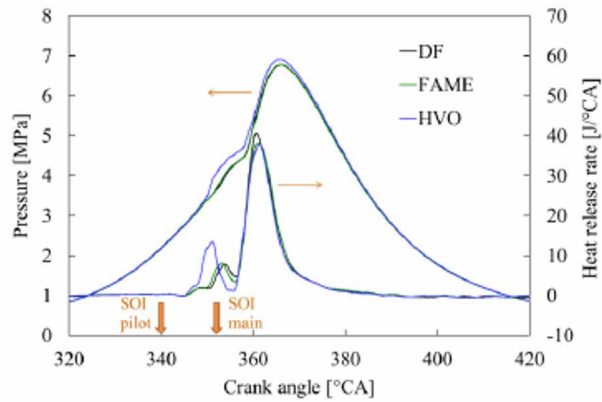


Fig. 2. In-cylinder pressures and HRRs for investigated fuels at 80 MPa rail pressure

### 5.3.3 Efectos de la presión del combustible sobre las emisiones

Ambos biocombustibles tanto HVO como FEME redujeron aproximadamente a la mitad las emisiones de PM (material particulado PM10 y PM2.5) en comparación con el DF. Al mismo tiempo, los biocombustibles producen solo entre 2% y un 3% más de emisiones de NOx. A la luz del comportamiento de combustión muy similar de DF, HVO y FAME, las diferencias de combustible a combustible discutidas anteriormente en

las emisiones son el resultado directo de las propiedades fisicoquímicas. De acuerdo a la fig. 4 estas emisiones específicas del combustible se mantienen a través del barrido de presión de inyección.

111

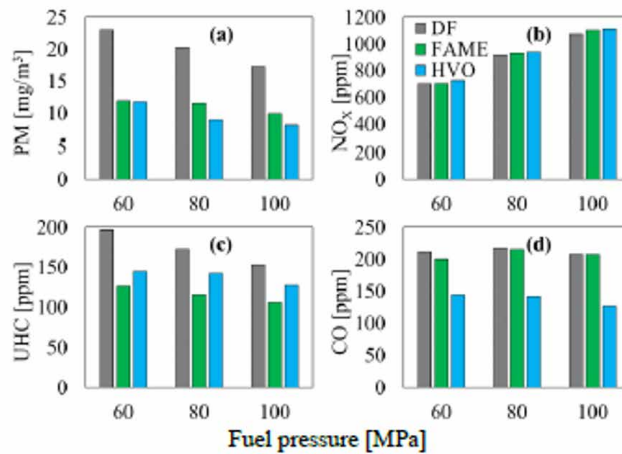


Fig. 4. Concentrations of major legislative emission components for DF, FAME and HVO; rail pressure sweep

## 6. MOTOR DE INYECCIÓN DIRECTA (EL COMBUSTIBLE SE VAPORIZA DIRECTAMENTE EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN)

Los motores diésel duran mucho, hasta medio millón de millas o más, y hay muy pocos estudios minuciosos y a largo plazo sobre los efectos que produce el aceite de cocina en los motores. Lo que está claro, sin embargo, es que decir «funcionará en cualquier motor diésel» es una exageración.

- Unos aceites son mejores que otros.
- Unos motores son más adecuados que otros.
- Unas bombas de inyección fusionan mejor que otras.
- Algunos sistemas electrónicos de distribución de combustible no toleran los aceites vegetales.
- Hay dudas sobre el uso de aceites vegetales en los motores de inyección directa.
- También hay dudas sobre la utilización como combustible para motores del aceite de cocina usado.

Debido a este sistema de inyección, los motores de inyección directa como por ejemplo camiones, tractores agrícolas y motores industriales, alimentados con aceites vegetales no esterificados, rápidamente presentan problemas de funcionamiento. Los mismos consisten en la formación de sedimentos carbonosos en el interior del motor y una fuerte dispersión cíclica que puede conducir a problemas mecánicos a veces importantes.

En estos casos, si no se quiere modificar el carburante, de forma que obtengamos biodiesel, se puede actuar sobre las cámaras de combustión para que las condiciones de temperatura durante el funcionamiento aseguren una total combustión de los aceites vegetales.

Es importante que el aceite este caliente antes de que llegue a la bomba del inyector y se purgue. Los problemas con los motores diésel de inyección directa parecen estar asociados principalmente con la acumulación de carbono en los inyectores

y eso se puede reducir significativamente, si no eliminarse, mediante el uso de aceite vegetal calentado.

Los motores diésel actuales son motores eficientes y de combustión limpia. La tecnología de inyección de combustible es muy sofisticada. Las propiedades del aceite (ejemplo canola) y el diésel son muy similares, excepto por una diferencia significativa en la viscosidad, ya que el aceite tiene 12 veces la viscosidad del diésel. Incluso después de calentarlo a alrededor de 80 grados C, sigue siendo seis veces más viscoso que el diésel. Esto conduce a problemas con el flujo de aceite desde el tanque de combustible al motor, bloqueos en los filtros y las subsiguientes pérdidas de potencia del motor. Incluso si se utiliza el precalentamiento para reducir la viscosidad, aún pueden surgir dificultades con el arranque debido a las temperaturas requeridas para que los aceites emitan vapores inflamables. Además, los motores pueden sufrir coquización y engomado, lo que conduce a la adherencia de los anillos del pistón debido al pirólisis de los compuestos multienlazados. Los ácidos grasos poliinsaturados también se oxidan durante el almacenamiento, lo que provoca la formación de gomas ya altas temperaturas, donde puede producirse una compleja polimerización oxidativa y térmica.

Entre los problemas que se han encontrado del uso de aceite vegetal directamente en motores DI esta:

1. Mayor viscosidad (mucho mayor) del aceite vegetal respecto al diésel normal proveniente del petróleo. Hay que calentar el aceite para que los inyectores puedan pulverizarlo bien. Si no está bien pulverizado no arde bien y forma depósitos en los inyectores y en los cilindros, empeora el rendimiento, aumenta las emisiones contaminantes y acorta la vida del motor.

2. Coquización y formación de trompeta en los inyectores hasta el punto de que la atomización del combustible no se produce correctamente o incluso se evita como resultado de los orificios obstruidos,

3. Depósitos de carbón,

4. Pegado del anillo de aceite,

5. Espesamiento y gelificación del lubricante. aceite como resultado de la contaminación por aceites vegetales, y

6. Problemas de lubricación.

Otras desventajas del uso de aceites vegetales y especialmente grasas animales son la alta viscosidad (alrededor de 11 a 17 veces mayor que el combustible diésel), menor contenido

de volatilidades que provoca la formación de depósitos en los motores debido a una combustión incompleta y características de vaporización incorrectas. A altas temperaturas puede haber algunos problemas con la polimerización de los ácidos grasos insaturados, aquí es donde comienza a producirse el entrecruzamiento entre otras moléculas, provocando que se formen aglomeraciones muy grandes y, en consecuencia, se produzca el gomoso.

Aunque algunos motores diésel pueden funcionar con aceites vegetales puros, los motores turboalimentados de inyección directa, como los camiones, son propensos a tener muchos problemas.

## 7.MANTENIMIENTOS Y CICLO DE VIDA DEL MOTOR DE CI IMPULSADO POR ACEITES VEGETALES:

A manera de poder ilustrar el comportamiento de los motores de combustión de encendido por combustión interna impulsados por aceites vegetales, nos hemos referido al fabricante finlandés de motores Wartsila.

La electricidad proporcionada por la red, puede ser estable. Muchas soluciones energéticas – como la solar y eólica – dependen de las condiciones del tiempo. Las plantas de energía a base de biocombustible conscientes de esta dependencia en los recursos renovables y ofrecen altos desempeños en general durante todos los tiempos. De hecho, biocombustibles tienen mucho más que ofrecer a las personas de negocio, así como a los ambientalistas. Son capaces de producir dinero mientras toman en consideración los problemas ambientales este es una buena inversión, para ahora y para el futuro. La demanda de la energía mundial se aumenta exponencialmente. Al mismo tiempo, hay una

preocupación creciente con el mediamente y en particular con el cambio climático, haciendo de la reducción de gases de efecto invernadero una prioridad.

Las plantas a base biocombustible líquido ofrecen generación sustentable y permiten la reducción de gases nocivos. En muchos países, dueños de plantas energéticas con bajas emisiones se benefician doblemente. Al vender la electricidad a la red nacional, así como obtener incentivos “verdes”.

La producción de biocombustible crea oportunidades laborales locales, así como promueve la cohesión social y económica. También mejora la seguridad de la producción de combustible al reducir la necesidad de combustibles importados. En algunos casos, el cultivo de plantaciones para la energía puede ayudar a la lucha contra la erosión de los suelos.

Los motores de media velocidad son diseñados para correr en Heavy Fuel Oil (HFO), y son también aptos para la operación con biocombustibles líquidos solamente en contraste con los motores de alta velocidad más pequeños que requieren combustibles ligeros de alta calidad o biodiésel. Los motores de mediana velocidad tienen los años probados de su valor como sets de generación de energía bajo las condiciones más extremas del planeta y con varias calidades de combustible.

En cuanto se optimizan los estándares de diseño del motor, fabricantes como Wartsila ha desarrollado un sistema de alimentación de combustible el cual controla la temperatura y la

viscosidad a lo largo de la planta de energía. Esto elimina el sobrecalentamiento o enfría puntos que pueden generar cambios en las características del combustible. Décadas de experiencia y un sistema que consiste en separadores, calentadores, filtros y enfriadores ha ayudado a desarrollar soluciones óptimas para la eficiencia máxima del combustible con un mínimo de emisiones.

Hemos escogido el motor W-46 con las siguientes características:

Wärtsilä 46	12V46
Power, electrical (50 Hz/500 rpm) kW	11380
Power, electrical (60 Hz/514 rpm) kW	11380
Genset dry weight (tonne) ±5%	269
Reduced transport weight (tonne) ±5%	207

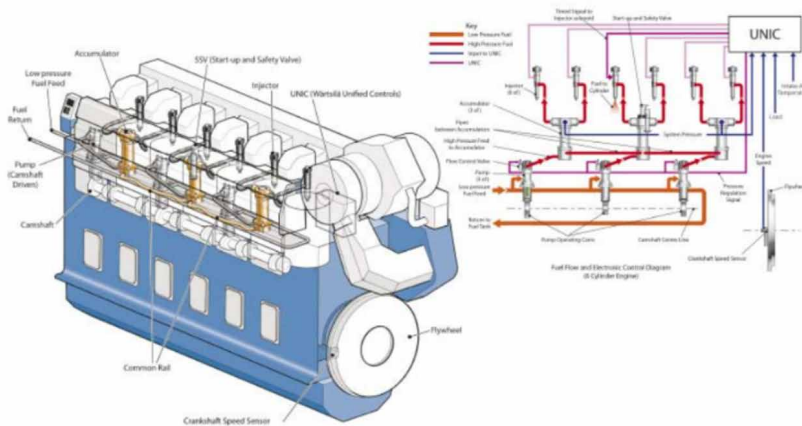


#### • Sistema de Combustión:

El motor Wartsila 46 está disponible para sistemas de inyección de combustible convencional u opcionalmente en carril común para la inyección de combustible para una operación sin emisiones y también a baja carga. El sistema completo de

combustión es integrado en un compartimiento totalmente cubierto para máxima seguridad. Todas las filtraciones de las válvulas de inyección, bombas y mangueras son colectadas en un sistema cerrado.





7

El motor W46 está diseñado para correr usando combustibles destilados, tales como el Diesel Oil, HFO, LFO. Pueden emplearse también, HFO de alta viscosidad, combustible crudo, combustibles emulsificados y biocombustibles líquidos (LBF). En nuestro caso utilizaremos LBF, que como mencionamos antes son combustibles bio-orgánicos basados en vegetales, que han sido aceptados para motores Wärtsilä desde 1996

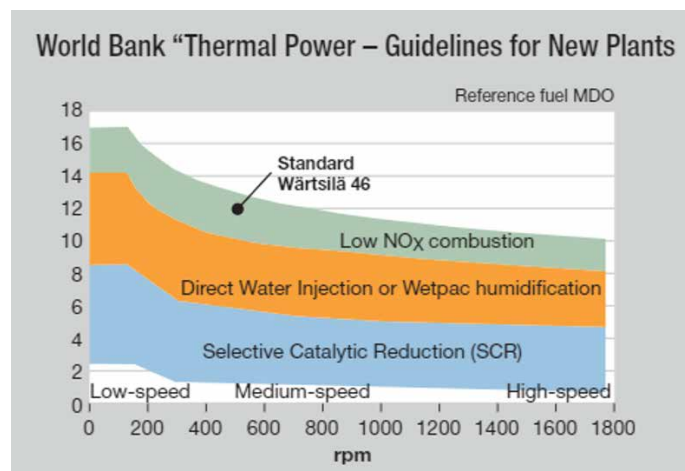
y que han encontrado un uso comercial para plantas de generación Diesel. Aceite de oliva, aceite de palma, aceite de soja y aceite de semilla de colza son algunos de los de mejores calidades entre los bio-aceites, todos ellos son usables como combustible diésel. Biodiesel y bio-aceite transesterificado, también pueden ser utilizados.

115

• **Emisiones de Escape:**

El énfasis en temas ambientales ha considerablemente crecido y se espera continúe a crecer en el futuro. El foco principal han sido las emisiones de Óxidos Nitrosos (NOx), Óxidos de Sulfuro (SOx) y las emisiones particuladas.

Recientemente mucha atención también se está prestando al CO2 debido al Protocolo de Kyoto y en el sector marítimo, la operación sin emisiones ni humo ha cobrado mucha importancia sobre todo en la industria de cruceros.



## • **Mantenimiento:**

Durante el diseño y desarrollo el fabricante del motor enfatiza la necesidad de fácil mantenimiento al incluir las siguientes herramientas y fácil acceso en el diseño básico y al proporcionar instrucciones de fácil entendimiento.

El principio de mantenimiento del Wartsila 46 esta sostenido en lo siguiente:

- Una cabeza de motor con cuatro espárragos de fijación y apretado hidráulico simultáneo en los cuatro.
- Un gato hidráulico para el mantenimiento del cojinete principal.
- Piezas uniformes de los cilindros del árbol de levas.
- Accesorios deslizantes toda vez que sea posible.

- Sistema de aislamiento de gases de escape al usar paneles fáciles de remover en una malla que es montada flexiblemente al motor.

- Bielas en tres secciones que permiten la inspección del BEB (Big end bearing) sin remover el pistón, y el mantenimiento del pistón sin desmantelar el BEB.

## 8. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES:

Los biocombustibles de primera generación para motores diésel se producen a partir de aceites vegetales. Después de una purificación más o menos profunda, se pueden usar directamente como combustible en motores diésel y todavía se usan actualmente en algunas aplicaciones limitadas. Ejemplo de ello lo constituye la utilización de aceite de piñon (Jatropha) en las islas Galapagos de Ecuador, al aceite ser extraído de las semillas oleaginosas a través de extracción por solvente, extracción mecánica, extracción enzimática y extracción acuosa. Según (Villafuente-Barreto et al, 2022), al realizarse la extracción en condiciones de operación adecuadas, la eficiencia del aceite obtenido fue del orden del 57%. Desde 2010 un sistema híbrido de dos generadores de aceite de Jatropha de origen alemán con una potencia eléctrica de 69 kW (kW<sub>el</sub>) y una planta fotovoltaica con una potencia eléctrica pico de 21 kW (kW<sub>pico</sub>) está suministrando con éxito electricidad a partir de energías renovables a los habitantes y turistas de Isla Floreana. Los

equipos de alemanes recomiendan que la calidad del aceite de Jatropha se compare con los requisitos de la norma de colza (DIN 51605), lo que debería resultar en el logro de un aceite de Jatropha de buena calidad para la combustión, por ejemplo, en motores diésel.

Se han realizado varias investigaciones y los resultados de las pruebas han demostrado que los aceites vegetales son sustitutos factibles del combustible diésel. El uso de aceites vegetales como combustible diésel depende de los precios del mercado mundial para los productos minerales y, por lo tanto, es de especial interés en la actualidad solo para los países con un gran exceso de producción de aceite vegetal.

Los aceites vegetales están disponibles en todo el mundo y son renovables, ya que las verduras que producen semillas oleaginosas se pueden plantar año tras año. Por el contrario, debido a su combustión más lenta y temperaturas más bajas

en la cámara de combustión, los aceites vegetales reducen las emisiones de NOx. No obstante, la utilización de los aceites vegetales como combustible, así como los otros biocombustibles en general puede suponer posibles líneas de competencia con la cadena alimentaria, al tener que cederse gran parte de la producción de granos o frutos oleaginosos para la producción de combustible, en lugar de estos ser utilizados para proveer de alimento a la población tanto de la localidad en que se producen así como posibles exportaciones. De esta manera, estas localidades aparte de renunciar a estas fuentes alimenticias también dejan de percibir la retribución financiera que con su producción y comercialización se podría esperar. Sin embargo, esto es una cuestión de saber balancear estas producciones y utilización de materia prima a fin de que se todo el proceso sea sostenible.

Si bien los aceites vegetales representan un combustible alternativo, seguirán presentando riesgos relacionados con sus características intrínsecas, que ni los fabricantes de automóviles ni de tractores y maquinaria agrícolas están dispuestos a asumir. Los resultados de algunos experimentos demuestran que el aceite vegetal y sus mezclas son potencialmente buenos combustibles sustitutos de los motores diésel en un futuro cercano cuando los depósitos de petróleo se vuelvan más escasos.

Para los estudios relacionados a la utilización de aceite vegetal directamente empleado, según el estudio de caso presentado por Sisi et al, el motor diésel funcionó con éxito con los combustibles SVO puros de Vanuatu sin ningún aditivo. No se observaron golpes, lo que implica que los combustibles SVO están adaptados para el motor diésel. El rendimiento del motor y los resultados de las emisiones de los SVO se compararon con los resultados obtenidos con combustible diésel limpio. Podemos concluir que se encontró que las eficiencias térmicas de freno de los SVO eran comparables con las del diésel.

El aceite de tamanu, que es un aceite no comestible, mostró buenas características de desempeño a pesar de tener una alta viscosidad a temperatura ambiente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de

los combustibles SVO son ligeramente inferiores a las del diésel. Los resultados de emisión de CO para los SVO son más altos que los del diésel para todas las cargas debido a una alta proporción de carbono a oxígeno en los SVO, lo que hace que parte del carbono experimente una combustión incompleta. Los cuatro aceites usados en el estudio referido se pueden usar en motores diésel directamente sin ninguna reducción significativa en el rendimiento del motor.

El estudio presentado por Yacoob et al, cubre una revisión detallada del uso de biocombustibles obtenidos de WCO en el motor de CI con diferentes proporciones de mezcla con diésel de petróleo. La comparación de las propiedades fisicoquímicas del diésel, biodiesel y biocombustibles WCO mostró si los valores se encuentran dentro de los límites permitidos por las normas ASTM y europeas o no. Esta comparación fue seguida por la elucidación de las características de combustión, rendimiento y emisión de las mezclas de biocombustible y el combustible de referencia. En la comparación de las características de combustión del biocombustible con el diésel de referencia, el CPP (Cylinder peak pressure) aumentó, el período ID (Ignition delay) se acortó, la HRR (Heat release rate) disminuyó y la EGT (Exhaust gas temperature) tuvo un comportamiento errático.

Otros trabajos en este campo han explorado la inclusión de nanopartículas en mezclas de biocombustibles debido a sus efectos positivos sobre sus propiedades fisicoquímicas y características de emisión. Una mejor caracterización también es buena para mejorar las características de combustión, rendimiento y emisión. También hay espacio para mejorar la estabilidad oxidativa del biocombustible y la estabilidad de la mezcla, especialmente con adiciones de nanopartículas. Se deben desarrollar políticas relacionadas con los combustibles alternativos para comercializar el combustible mezclado WCO-diésel.

El HVO se produce por hidrogenación e hidrocrackeo de aceites vegetales y grasas animales usando hidrógeno y catalizadores a altas temperaturas y presiones. En este proceso de hidrotratamiento, se elimina el oxígeno de las

materias primas que consisten en triglicéridos y/o ácidos grasos. En primer lugar, se agrega hidrógeno a los dobles enlaces en la materia prima renovable. A partir de entonces, se agrega más hidrógeno para eliminar el propano mediante la escisión de los triglicéridos en ácidos grasos.

Por último, los ácidos grasos se convierten en hidrocarburos por hidro desoxigenación y/o descarboxilación. La producción de HVO está bien desarrollada a escala industrial. El costo de inversión para las instalaciones HVO es generalmente más alto que para las plantas de producción de biodiesel. El hidrógeno utilizado en la producción de HVO en la actualidad proviene principalmente de fuentes fósiles.

El HVO se puede producir a partir de cualquier tipo de aceite vegetal y grasas que contengan triglicéridos y ácidos grasos. HVO es una parafina renovable con propiedades de combustión similares a otras parafinas renovables como los líquidos de Fischer-Tropsch, que se producen a través de la gasificación de biomasa y la síntesis química. En el procesamiento, se mezclan normalmente entre un 5 % y un 10 % de alimentos de base biológica con alimentos fósiles.

En el procesamiento, los componentes de base biológica se fraccionan en diferentes líneas de refinería y terminan como múltiples productos.

El proceso HVO también se puede modificar para producir queroseno renovable, por ejemplo, para las aplicaciones de combustible para aviones.

Como lo presenta el artículo publicado por Hunicz et al, dentro de los límites del régimen de combustión discutido, el número de cetano del combustible tiene un efecto dominante en el desempeño de la combustión de los combustibles, afectando la combustión del combustible piloto. Debido al fuerte acoplamiento de la combustión principal con el piloto anterior, la combustión principal permanece en gran medida insensible a los cambios de combustible, por lo que todos reaccionan a la presión de inyección de manera similar. A pesar de las diferencias a gran escala en la viscosidad y el punto de inflamación entre los combustibles probados, el efecto de todos los demás parámetros del combustible en la combustión es un orden de magnitud menor que el del índice de cetano. La naturaleza oxigenada de FAME y su gran viscosidad finalmente no deterioran las emisiones en el concepto de combustión realizado.

Las diferencias de combustible a combustible resultan directamente del contenido de azufre y cenizas en el combustible, más que de las diferentes características de la combustión.

## 9. DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses, así como declaran haber dado el debido crédito literario a las fuentes utilizadas y autores. De igual forma los autores declaran el carácter

informativo y educativo del presente artículo, para tal no se ha recibido aporte económico ni financiero para su realización.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Alvarez, F. (2016). Motores estacionarios diesel operados con aceite vegetal crudo de jatropa y palma . Revista CINTEX, 21 (1), 45-70.

Chakraborty, S., Adhikary, A., & Al Nur, M. (2019). Waste vegetable oils as an alternative fuel for diesel engine. ICME09-TH, 27.

Corsini, A., & Marchegiani, F. (2015). Vegetable oils as fuels in Diesel engine. Engine performance and emissions. Energy Procedia, 942-949.

Division, E. W. a. A., Olhoff, A., Christensen, J., Lamb, W. F., Pathak, M., Kuramochi, T., Michel, D. E., Fransen, T., Rogelj, J., Portugal-Pereira, J., Burton, J., Muttitt, G., Rao, N., Mulugetta, Y., Geden, O., Bui, M., Gidden, M., & Bustamante, M. (2023, November 7). Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43922>.

Di Vito Nolfi, G., & Gallucci, K. a. (2021). Green Diesel Production by Catalytic Hydrodeoxygenation of Vegetables Oils. International Journal of Environmental Research and Public Health, 1-28.

Gandón-Hernández, J. T.-B., & García-Díaz, M. (2017). Caracterización de un biocombustible obtenido a partir de aceite vegetal de desecho. . Tecnología Química. 37(2), 236-248.

Hunicz, J., Krzaczek, P., Geca, M., Rybak, A & Mikulski, M. (2021). Comparative study of combustions and emission of diesel engine fuelled with FAME and HVO. Combustion Engines. 2021, 184(1), 72-78. <https://doi.org/10.19206/CE-35066>.

Madhuri, R. R. (2015). Properties of vegetable oils and their influence on performance and exhaust emissions of a Di-Diesel Engine: A review. Intl J Mech Eng Technol, 6 (11), 89-101.

Murayama, T. (1995). Evaluación de los aceites vegetales como combustible diesel. Palmas, Volumen 16, No.3, 63-72.

Nieto Garzon, O. A., & Hartmann, R. &. (2015). Experimental and thermodynamic analysis of a compression ignition engine operating with straight soybean oil. Revista de la Sociedad Brasileña de Ciencias Mecánicas e Ingeniería, 37 (5), 1467-1478.

Ortiz, H., Kipping, D., & Schumann, U. (2012). Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión . Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas , 650-658.

Pérez, B., Díaz, U., Celestino, P., Ramón, F., Hernandez, F. B., & Beltran, S. (2010). Beneficios para la combustión y el medio ambiente, con el uso de aceite vegetal. . Revista CENIC. Ciencias Biologicas, Vol 41, 1-9.

Riba, J.-R., Esteban, B. B., Puig, R., & Rius, A. (2010). Caracterización de las propiedades físicas de aceites vegetales para ser utilizados como carburante en motores diesel. Afinidad, Vol 67, No. 546.

Selaimia, R., Beghiel, A., & Oumeddour, R. (2015). The synthesis of biodiesel form vegetable oil. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 1633-1638.

Sisi, M., Ahmed, R., & Rohindra, D. (2020). Performance and emission characteristics of a diesel engine employing straight vegetable oils from vanuatu as fuels. Advances in Mechanical Engineering. Vol 12 (9), 1-13.

Vignesh, P., Arockiyasamy, R., Narayanan, S., Jayaseelan, V., & Sudhakar, K. (2021). Biodiesel and green diesel generation: an overview. IFP Energies nouvelles Vol 76 (6), 1-16.

Villafuerte-Barreto, A., Zambrano-Gavilanes, F., & Bravo-Zamora, R. (2022). Evaluacion del potencial uso del pinon (Jatropha Curcas L.) para la generaci3n de biocombustible. *Biotempo* 2022, 19(2), july-december: 281-289.

Vrabie, V., Scarpete, D., & Zbarcea, O. (2016). Vegetable oils as alternative fuel for new generation of diesel engines. A review. *Scientific proceedings XXIV International scientific-technical conference*. Vol 1, 105-109. Wartsila (marzo 2007). Wartsil 46 Project Guide, Volumen 5. Vaasa, Finlandia.

Wartsila (2008). Wartsil 46 Technology Review. Vaasa, Finlandia.

Yaqoob, H., Yew, T., Farooq, S., Muhammad, U., Ahmad, J., Zareena, K., . . . Atiq, R. (2021). Potential of waste cooking oil biodiesel as renewable fuel in combustion engines: A review. *Energies*. Vol 14, 1-20.