

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO₂ DE UN MOTOR EMPLEANDO DIÉSEL Y BIODIÉSEL

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO₂ EMISSIONS OF AN ENGINE USING DIESEL AND BIODIESEL

¹Carlos Alonso Ramírez-Velasco, ²Diego Javier Pérez Ortega,
³Ricardo Ignacio Pereira Martínez, ⁴Fabio Andrés Bolaños-Alomía

¹Magister en Ingeniería Ambiental Universidad Mariana Pasto. Especialista en Finanzas Universidad del Valle Cali. Ingeniero Industrial Universidad Nacional de Colombia Manizales. Profesor Investigador Universidad Cooperativa de Colombia - UCC Pasto.

²Postdoctorado en Ciencias Ambientales UNESP-Sorocaba Brasil. Doctorado en Ingeniería Ambiental UNESP-Sorocaba Brasil. Maestría en Ingeniería Civil UNESP-Ilha Solteira Brasil. Ingeniero Agroforestal UDENAR. Docente investigador de la Universidad Cooperativa de Colombia UCC Pasto.

³Magister en Ingeniería Ambiental Universidad Mariana Pasto. Especialista en administración financiera Centro de estudios Superiores María Goretti CESMAG Pasto. Ingeniero Industrial Universidad Cooperativa de Colombia - UCC sede Pasto. Profesor Investigador UCC sede Pasto.

⁴Doctorando en Docencia universitaria Universidad de Nariño. Magister en Docencia Universitaria Universidad de Nariño. Ingeniero Mecánico Universidad Tecnológica de Pereira. Decano facultad de Ingeniería UCC sede Pasto.

¹carlos.ramirez@campusucc.edu.co, ²diego.perezortega@campusucc.edu.co,
³ricardo.pereira@ucc.edu.co, ⁴fabio.bolanos@ucc.edu.co

Citación: Ramírez-Velasco, C., Pérez, D., Pereira, R., y Bolaños-Alomía, F. (2021). Análisis comparativo de emisiones de CO₂ de un motor empleando diésel y biodiésel. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 127 – 145.
DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3603>

RESUMEN

Contextualización: desde el protocolo de Kioto y la Cumbre de París, en el mundo, la reducción de gases de efecto invernadero causados por la actividad antrópica ha cobrado vital importancia, dados los indicadores críticos de emisión con efectos nocivos en el clima.

Vacío de investigación: considerando lo anterior, las investigaciones preliminares no logran llegar a un acuerdo sobre qué combustible genera menores emisiones de CO₂: el diésel o el biodiésel.

Propósito del estudio: a fin de fundamentar información que permita proponer alternativas energéticas sustentables a partir de sustitutos de combustibles fósiles, fue necesario cuantificar y evaluar las emisiones de CO₂ proveniente de motores diésel. Para esto, se realizó este experimento, cuyo propósito es emplear diésel comercial B10 y biodiésel B100, y determinar sus emisiones de CO₂; para ello se utilizó un motor de compresión de una planta eléctrica, con factores fijos como la cantidad de combustible por emplear, establecida en 100 gramos.

Metodología: el experimento se apoyó estadísticamente con un diseño factorial basado en dos factores: tipo de diésel con dos niveles y potencia generada con tres niveles, y se determinó el efecto conjunto que estos factores producen en la emisión de CO₂. Para esto, el motor fue sometido a la generación de tres potencias: 0,5 kW-1,0 kW-1,5 kW; lo cual propició, para cada nivel de potencia, diferentes caudales o consumos de combustible y aire, y diferentes emisiones de CO₂.

Resultados y conclusiones: los resultados indican que, empleando cualquier combustible, la relación aire/combustible es menor y la fracción molar de CO₂ es mayor cuando se genera más potencia. El experimento mostró que la fracción molar de B10 es mayor que la del B100: 0,15 y 0,13, respectivamente, con lo cual no puede generalizarse que la mayor emisión de CO₂ la propicie el diésel comercial, pues la mayor o menor emisión depende de la composición química del combustible.

Palabras clave: biodiésel, factor de emisión CO₂, inventario de emisiones, gases de efecto invernadero

SUMMARY

Contextualization: Since the Kyoto protocol and the Paris Summit, the reduction of greenhouse gases, caused by anthropic activity, has become critically important in the world, given the critical emission indicators with harmful effects on the climate.

Knowledge gap: Within this panorama, preliminary research does not agree on which fuel generates the lowest CO₂ emissions: diesel or biodiesel.

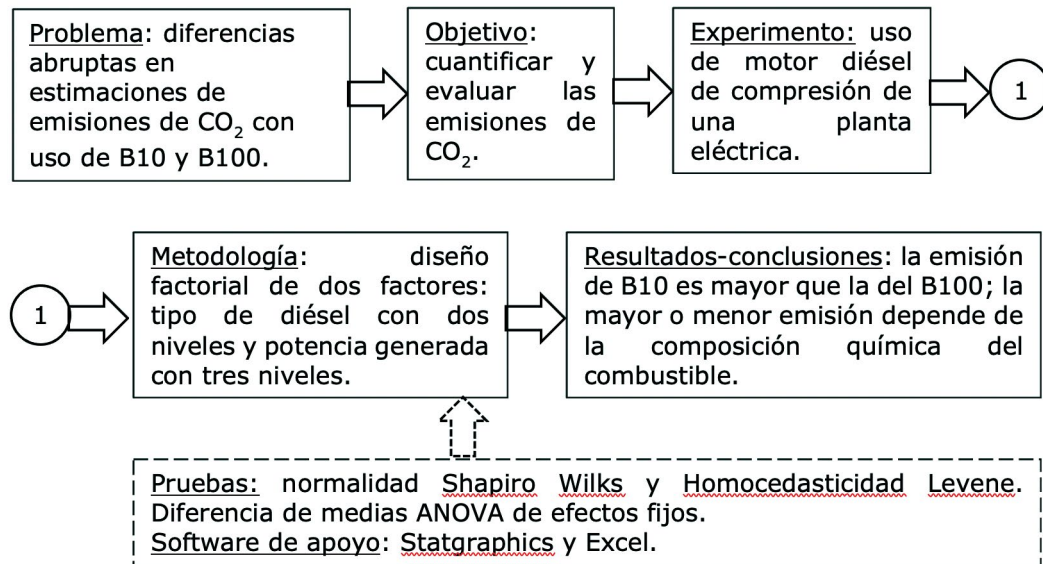
Purpose: Seeking to provide information to propose sustainable energy alternatives from substitutes for fossil fuels, it was necessary to quantify and evaluate CO₂ emissions from diesel engines, for which purpose, the experiment was carried out with the purpose of using commercial diesel B10 and biodiesel B100x, and determine their CO₂ emissions; for this a compression engine from a power plant was used, with fixed factors such as the amount of fuel to be used, established at 100 grams.

Methodology: The experiment was statistically supported by a factorial design based on two factors: type of diesel with two levels and power generated with three levels, and the joint effect that these factors produce on CO₂ emission was determined. For this, the motor was subjected to the execution of three jobs related to three generated powers: 0.5 kW-1.0k W-1.5 kW; which caused, for each power level, different flows or consumption of fuel and air, and different CO₂ emissions.

Results and conclusions: The results indicate that, using any fuel, the air/fuel ratio is lower and the molar fraction of CO₂ is higher when more power is generated. The experiment showed that the molar fraction of B10 is greater than that of B100: 0,15 and 0,13, respectively, so it cannot be generalized that the higher CO₂ emission is caused by commercial diesel. The greater or lesser emission depends on the chemical composition of the fuel.

Keywords: biodiesel; CO₂ emission factor; emission inventory; greenhouse gases

RESUMEN GRAFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

Las partículas suspendidas en el aire son peligrosas para la salud. Las de diámetro inferior a 10 µm penetran en el sistema respiratorio y están relacionadas con el uso de combustibles fósiles; las de diámetro inferior a 2,5 µm penetran en el torrente sanguíneo (Lau, 2017).

Las reacciones químicas en la atmósfera generan N₂O, CO₂, SO₂, NH₃ y otros gases de efecto invernadero (GEI) (Brusca, 2016). Las emisiones de la combustión de diésel pueden causar cáncer y otras enfermedades, usando biodiésel B100 se elimina hasta el 90% de compuestos tóxicos presentes en el aire (Tyson, 2016).

Diversas investigaciones relacionadas con el cambio climático mencionan datos similares respecto a la concentración del dióxido de carbono en el aire. En el año 1950 la concentración de CO₂ se estimó en 275 ppm; en el 2000, en 365 ppm; y en el 2012, en 393 ppm (Castillo, 2005).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el punto crítico se encuentra en 450 ppm (Uptown, 2014). En los últimos 650.000 años, la carga de CO₂ nunca sobrepasó las 300 ppm, había oscilado entre 180 ppm, en periodos glaciares, y 290 ppm, en fases de calentamiento (Ramos, 2008).

Estos datos constituyen un llamado a minimizar los Gases Efecto Invernadero, razones que impulsan la necesidad de medir la emisión de CO₂ provenientes de actividades actuales respecto de alternativas energéticas medioambientales amigables y sustentables.

Adicionalmente, Colombia tendrá en el 2020 aproximadamente 3,5 millones de vehículos (Dinero, 2014). Hasta agosto del año 2017 tuvo un promedio de ventas mensuales de diésel de 127 mil Barriles Día Calendario (KBDC) (Ecopetrol, 2017).

Colombia proyecta emitir en el año 2020 cerca de 29 millones de toneladas de CO₂ provenientes del sector transporte, 33 millones de toneladas para 2024, 37 millones de toneladas para 2030 y 46 millones de toneladas de CO₂ para 2040 (Departamento Nacional de Planeación - DNP, Banco Mundial, 2014)

Dentro de este panorama, se considera necesario cuantificar y evaluar las emisiones de CO₂; para esto, se realizó el presente experimento en la ciudad de Pasto, Nariño, cuyos objetivos se centraron en medir el CO₂ emitido por la combustión del diésel comercial B10, empleado en el motor de una planta eléctrica; hacer lo mismo empleando biodiésel B100; analizar y comparar las emisiones de la combustión de los dos combustibles B10 y B100, para determinar cuál es menos contaminante.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales: se seleccionó una planta eléctrica ajustada a la siguiente caracterización: referencia planta diésel GPMD marca Power, generación 2,5kW, con motor de compresión, fuerza 7HP, capacidad del tanque dos galones, velocidad fija para el experimento en 7.000 revoluciones/minuto, un solo eje, un cilindro, diámetro del cilindro 50 mm, carrera cilindro 100 mm y alimentación de combustible con inyección directa (Mantilla 2010).

Como equipo de medición de flujo másico del aire de admisión, se seleccionó un anemómetro de precisión con puerto de conexión PEC 007 con unidades de medida en m/s.

Se conectó una manguera flexible de igual diámetro del medidor del anemómetro al sistema de admisión de aire del motor (Figura 1), de esta manera se midió la cantidad de metros/segundo de aire que ingresa, los cuales fueron convertidos a kg de aire.



Figura 1. Motor con manguera de admisión de aire adaptada.

Fuente: Autores.

Se fijó un embudo a un soporte metálico, y al cuello del embudo se ensambló una manguera que conecta directamente con el sistema de admisión de combustible del motor (Figura 2). En el cuello del embudo se colocó una marca con cinta (Figura 3) para determinar el

momento justo en el que se debía accionar un cronómetro digital, el cual contabilizó el tiempo de duración de cada combustible empleado. El cronómetro se accionaba al paso del combustible por la marca, en los momentos inicial y final del consumo, con el motor en funcionamiento.



Figura 2. Adaptación manguera de admisión de combustible.

Fuente: Autores.



Figura 3. Embudo para control de combustible.

Fuente: Autores.

Se instaló una balanza electrónica, digital, portátil, de batería, con unidad de medición en gramos, tres dígitos y dos decimales, marca Kenwell, referencia EK5055, en ella se pesaron 100 gramos de combustible en cada corrida del experimento.

Se empleó biodiésel B100 de una empresa fabricante autorizada, ubicada en Meta, Colombia. Se empleó diésel comercial B10 de una empresa mezcladora de Cundinamarca. Las empresas y sus productos cumplen con las normas de calidad Norma Técnica Colombiana - NTC ISO Internacionales 5444/2018 sobre especificaciones de biodiésel para uso en motores diésel (Icontec, 2018).

Las empresas mezcladora y fabricante, con cromatografía de gases, indicaron que cada

mol de B10 contiene 53,54% C, 46,12% H y 0,34%; y cada mol de B100 contiene 32,84% C, 63,52% H y 3,64% O. Por razones de confidencialidad, no es posible revelar el nombre de estas entidades.

La demanda de 0,5 kW fue cubierta con cinco bombillos marca Sylvania de 100 W cada uno, conectados en paralelo (Figura 4).

De igual manera, para absorber la demanda de 1 kW, se puso en funcionamiento una resistencia de la estufa eléctrica marca Sonivox de referencia VS-ES991, y para absorber la demanda de 1,5Kw se pusieron en funcionamiento juntos una resistencia de la estufa y los cinco bombillos, como indica la figura 4, correspondiente al experimento propuesto.

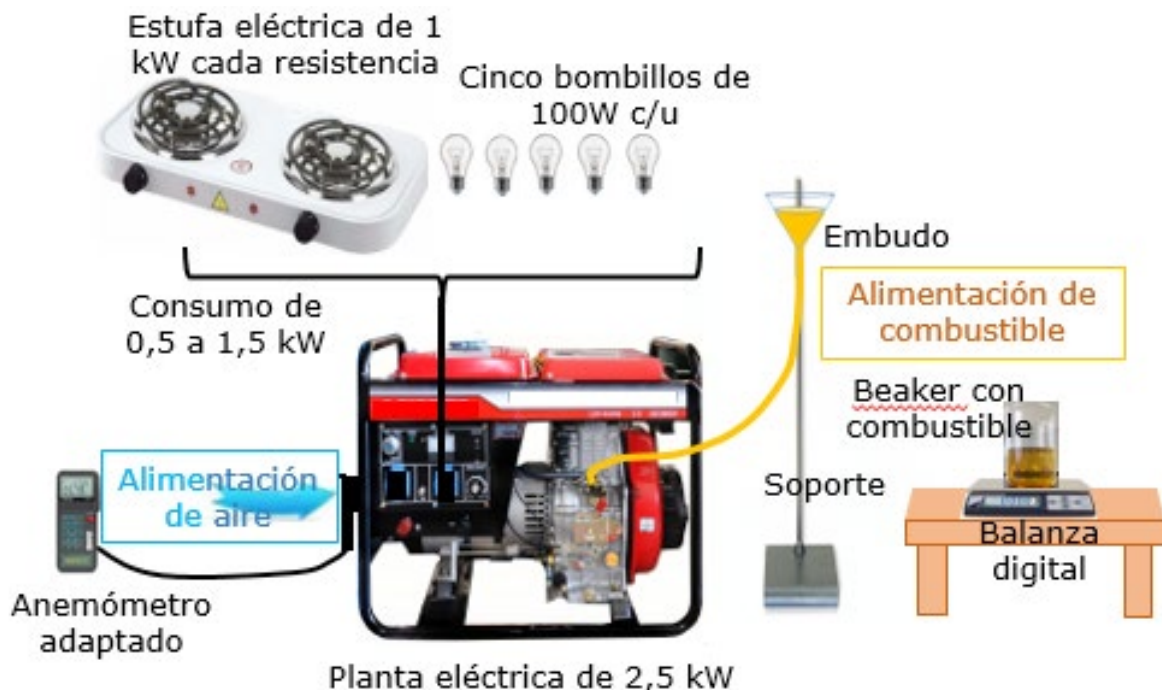


Figura 4. Experimento propuesto.

Fuente: Modificado desde UYUSTOOLS (2020), LINIO (2020), IMEDICIÓN (2020), MUNDO BÁSCULAS (2020), BIASE (2020), QUERCUSLAB (2020) y VINTEX (2020).

Se utilizaron datos de la humedad relativa RH%, presión atmosférica y temperatura de la ciudad de Pasto, proporcionados en tiempo real en su página web, por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM Colombia.

Métodos: se sometió una planta eléctrica de 2,5 kW al uso independiente de dos

combustibles y a diferentes generaciones de potencia (Simmons, 2015). En cada tratamiento se efectuaron cuatro corridas. En estado de purga, se efectuó cada corrida con cada combustible, comenzando con 0,5kW y aumentando paulatinamente hasta 1,5kW, como se muestra en la Figura 5, que recrea el experimento propuesto.



Figura 5. Corrida con generación de 0,5 kW.

Fuente: Autores.

Se obtuvieron 24 observaciones de fracción molar, cada observación se multiplicó respectivamente, por la suma de los volúmenes del combustible y del aire de admisión, el resultado corresponde al CO₂ emitido en volumen.

Para lograrlo, se contabilizó el tiempo en el que se consumió el combustible. Este tiempo se multiplicó por el caudal de aire (m³/s), para determinar el volumen y la masa de aire m_A real admitida en cada observación;

además, se hicieron las conversiones de unidades necesarias. En cada observación, dada la escala de medición del anemómetro, el caudal se obtuvo de la velocidad promedio del aire que ingresó al motor (m/s) multiplicado por el área de la manguera de admisión de aire. La mA se requirió para desarrollar las fórmulas 4 y 6.

Posteriormente, se desarrolló la secuencia explicada en el cuadro 1.

Cuadro 1. Procedimiento analítico realizado.

| Procedimiento analítico | Fórmula empleada | Interpretación | Datos obtenidos para desarrollar la fórmula | |
|---|--|--|---|---|
| | | | Dentro del experimento | Fuera del experimento |
| 1. Cálculo de la presión parcial del vapor de agua: P _{H₂O} requerido para fórmula 2. | Fórmula 1 $-\log_{10}(P_{H_2O}) = 9,09685 \left(\frac{273,16}{T_{amb}} - 1 \right) + 3,56654 \log_{10} \left(\frac{273,16}{T_{amb}} \right) + 0,87682 \left(\frac{257,75}{T_{amb}} - 1 \right) + 0,21386$ | Presión parcial del vapor de agua | Ninguno | Temperatura ambiente en oK. |
| 2. Cálculo de Fracción molar del agua en el aire: X _{H₂O} requerido para fórmula 3. | Fórmula 2 $X_{H_2O} = \frac{RH\% * P_{H_2O}}{1 - P_{atm}}$ Donde: RH%: Humedad relativa. P _{atm} : Presión atmosférica. | Fracción molar del agua en el aire | Ninguno | RH%: Humedad relativa. P _{atm} : Presión atmosférica. |
| 3. Cálculo del coeficiente estequiométrico del vapor de agua en aire admisión: n, requerido para fórmulas 5 y 7. | Fórmula 3 $n = \frac{4,773 X_{H_2O}}{1 - X_{H_2O}}$ Donde: 4,773: es el 100% del contenido de aire compuesto por Nitrógeno (79%) y Oxígeno (21%). | coeficiente estequiométrico del vapor de agua en el aire de admisión | Ninguno | Fracción molar del agua en el aire: X _{H₂O} |
| 4. Determinación de la relación real (aire/combustible) | Fórmula 4 $(m_A/m_F)_{real}$ Donde: m _A : masa del aire. m _F : masa del combustible. | Relación entre el aire y el combustible que ingresan al motor. | m _A : masa del aire= volumen x densidad del aire. m _F : masa del combustible=100g. | Ninguno. |
| 5. Determinación de la relación teórica (aire/combustible) | Fórmula 5 $(m_A/m_F)_S = \frac{(a + \frac{b}{4} - \frac{c}{2})(M_{O_2} + 3,773 M_{N_2} + n M_{H_2O})}{a M_C + b M_H + c M_O}$ Donde: M _{O₂} : Peso molecular Oxígeno. M _{N₂} : Peso molecular Nitrógeno. M _{H₂O} : Peso molecular vapor agua. M _C : Peso molecular Carbono. M _H : Peso molecular Hidrógeno. M _O : Peso molecular Oxígeno. a: contenido de Carbono. b: contenido de Hidrógeno. c: contenido de Oxígeno. n: coeficiente estequiométrico del vapor de agua en el aire. | Valor estequiométrico ideal, hay combustión completa, solo emite CO ₂ y H ₂ O en bajas cantidades. | Ninguno. | m _A : peso molecular aire. m _F : Peso molecular combustible. Cada mol de B10 contiene: a=53,54% Carbono, b=46,12% Hidrógeno, c=0,34% Oxígeno. Cada mol de B100 contiene: a=32,84% Carbono, b=63,52% Hidrógeno c=3,64% Oxígeno. |
| 6. Determinación de la relación relativa (aire/combustible) | Fórmula 6 $\lambda = \frac{(m_A/m_F)_{real}}{(m_A/m_F)_S}$ | λ ≥ 1: combustión completa, situación ideal. λ < 1: combustión incompleta, mayor emisión de gases efecto invernadero. | Relación real (aire/combustible) | Relación teórica (aire/combustible) $(m_A/m_F)_S$ |
| 7. Determinación de la fracción molar de CO ₂ o factor de emisión. También porcentaje, litros y kilos de CO ₂ promedio, emitidos en cada observación. | Fórmula 7 $\%Vol_{CO_2} = 100 * X_{CO_2} = 100 \frac{b}{\frac{b}{4} + \lambda(4,773 + n) \left(a + \frac{b}{4} - \frac{c}{2} \right) + \frac{c}{2}}$ Donde: a: contenido de Carbono. b: contenido de Hidrógeno. c: contenido de Oxígeno. n: coeficiente estequiométrico del vapor de agua en el aire. λ: relación aire/combustible. | Porcentaje de CO ₂ emitido, sobre el total de la mezcla admitida en el motor (litros de combustible + aire). | n: contenido de humedad de aire de admisión. λ: relación aire/combustible. | a: contenido de Carbono. b: contenido de Hidrógeno. c: contenido de Oxígeno. |

Fuente: adaptado de Fonseca (2012). Medición dinámica de emisiones. Fórmulas páginas 96 a 120.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de los datos primitivos que arrojó el experimento, obtenidos durante la observación de la primera

corrida con B10 y 0,5 kW, necesarios para el desarrollo del procedimiento indicado en el cuadro 1.

Tabla 1. Datos aleatorios de velocidad del aire de admisión para una observación.

| PRIMERA CORRIDA | Datos velocidad del aire (m/s) | | | | | | |
|---|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Fecha: 13 septiembre 2016. 2:00PM - 3:18PM | 0,66 | 0,68 | 0,67 | 0,64 | 0,65 | 0,65 | 0,67 |
| Combustible: Diésel comercial B10 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,68 | 0,63 | 0,65 | 0,64 |
| Generación: 0,5 kW | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,64 | 0,67 | 0,66 | 0,64 |
| Temperatura: 18,08 °C | 0,67 | 0,65 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,66 | 0,66 |
| Peso diésel: 100 g = 117,2058 ml | 0,65 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,65 | |
| Humedad relativa: 0,57 | 0,66 | 0,65 | 0,66 | 0,64 | 0,65 | 0,64 | |
| Presión atmosférica: 820,86 hPa | 0,64 | 0,64 | 0,63 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | |
| Duración (minutos): 15'31''96''' | 0,65 | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,63 | 0,66 | |
| | Promedio (m/s): | | | | | | 0,65 |

Fuente: Autores, observación de la primera corrida del experimento con B10 y 0,5 kW

Análisis estadístico

Como soporte estadístico a los resultados, se presentan las principales tablas que arroja el software Statgraphics, dentro del análisis ANOVA de efectos fijos para la fracción molar (Montgomery, 2004). Para verificar la normalidad de los datos de fracción molar se efectuó la prueba de Shapiro-Wilks donde se consideraron la hipótesis nula y alternativa como:

Ho: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, la distribución es normal.

H1: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, la distribución no es normal.

Se obtuvo un $p > 0,05$, por lo tanto, se aceptó la hipótesis nula Ho, comprobando que las muestras de fracción molar son normales, tanto con el uso de diésel como de biodiésel. Adicionalmente, de acuerdo con el test de Levene, se expusieron las siguientes hipótesis:

Ho: $\sigma^2_{B100} = \sigma^2_{B10}$, varianzas iguales.

H1: $\sigma^2_{B100} \neq \sigma^2_{B10}$, varianzas diferentes.

Como se obtuvo un $p > 0,05$, se aceptó la hipótesis nula Ho, por lo tanto, se observó que las varianzas son iguales y existe el supuesto de homocedasticidad.

Comprobar estas pruebas permitió desarrollar el procedimiento para la diferenciación de medias.

En la Tabla 2, se muestran: la media de fracción molar de CO₂ para cada uno de los niveles de los factores; y los errores estándar de cada media, que son una medida de la variabilidad en el muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Esta tabla indica que la fracción molar es mayor con uso de B10 y generando mayor potencia (1,5 kW); además el error estadístico es menor analizando el B100 y la menor potencia 0,5 kW.

Tabla 2. Medias por mínimos Cuadrados para fracción molar CO₂ confianza del 95,0%.

| Nivel | Casos | Media | Error Estándar | Límite Inferior | Límite Superior |
|-------------------------------|-------|----------|----------------|-----------------|-----------------|
| MEDIA GLOBAL | 24 | 0,14699 | | | |
| Combustible | | | | | |
| B10 | 12 | 0,155500 | 0,00128286 | 0,152805 | 0,158195 |
| B100 | 12 | 0,138483 | 0,00128286 | 0,135788 | 0,141179 |
| Potencia (kW) | | | | | |
| 0,5 | 8 | 0,113237 | 0,00157118 | 0,109937 | 0,116538 |
| 1 | 8 | 0,140700 | 0,00157118 | 0,137399 | 0,144001 |
| 1,5 | 8 | 0,187038 | 0,00157118 | 0,183737 | 0,190338 |
| Combustible por Potencia (kW) | | | | | |
| B10,0,5 | 4 | 0,119375 | 0,00222199 | 0,114707 | 0,124043 |
| B10,1 | 4 | 0,147675 | 0,00222199 | 0,143007 | 0,152343 |
| B10,1,5 | 4 | 0,199450 | 0,00222199 | 0,194782 | 0,204118 |
| B100,0,5 | 4 | 0,107100 | 0,00222199 | 0,102432 | 0,111768 |
| B100,1 | 4 | 0,133725 | 0,00222199 | 0,129057 | 0,138393 |
| B100,1,5 | 4 | 0,174625 | 0,00222199 | 0,169957 | 0,179293 |

Fuente: Autores

Adicionalmente, la prueba de múltiples rangos para fracción molar de CO₂ por combustible indica diferencias significativas entre combustibles y entre potencias, como se muestra en las

tablas 3 y 4. Con una confiabilidad del 95%, es significativamente mayor la fracción molar del biodiésel B10, respecto del diésel B100, puesto que no conforman grupos homogéneos.

Tabla 3. Método: 95,0% LSD para fracción molar CO₂ por combustible.

| Combustible | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|------------|-------------------|
| B100 | 12 | 0,138483 | 0,00128286 | X |
| B10 | 12 | 0,155500 | 0,00128286 | X |

Fuente: Autores, resultados software Statgraphics

Tabla 4. Pruebas de múltiples rangos para fracción molar CO₂ por combustible.

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|------------|------|------------|-------------|
| B10 - B100 | * | 0,0170167 | 0,00381159 |

* Indica diferencia significativa con 95% confiabilidad.

Fuente: Autores, resultados software Statgraphics

El análisis estadístico efectuado en el software Statgraphics, aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Se han identificado tres grupos no homogéneos según la alineación de las X en columnas; existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles que no comparten una misma columna de X.

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (Fisher, 1935). Con este método hay un riesgo del 5,0% al afirmar que cada par de medias es significativamente diferente. Así, con una confiabilidad del 95% se asegura que la fracción molar es mayor al generar mayor potencia (tablas 5 y 6).

Tabla 5. Método: 95,0% LSD para Fracción molar CO₂ por Potencia (kW).

| Potencia (kW) | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---------------|-------|----------|------------|-------------------|
| 0,5 | 8 | 0,113237 | 0,00157118 | X |
| 1 | 8 | 0,140700 | 0,00157118 | X |
| 1,5 | 8 | 0,187038 | 0,00157118 | X |

Fuente: Autores, resultados software Statgraphics

Tabla 6. Pruebas de Múltiple Rangos para Fracción molar CO₂ por Potencia (kW).

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 0,5 - 1 | * | -0,0274625 | 0,00466823 |
| 0,5 - 1,5 | * | -0,0738000 | 0,00466823 |
| 1 - 1,5 | * | -0,0463375 | 0,00466823 |

* Indica una diferencia significativa, con 95% de confiabilidad.

Fuente: Autores, resultados software Statgraphics

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

La Tabla 7, presenta datos atmosféricos y resultados para cada combinación: relación relativa aire/combustible λ , fracción molar, trabajo realizado, FE de CO₂, y kg de CO₂ emitidos en ml, g y ppm. La dispersión por código de nivel permite confirmar la hipótesis: "el factor de emisión de CO₂ es menor usando B100 comparado con B10".

También se observa que el factor de emisión de B10 obtenido en el experimento es diferente

al factor de emisión propuesto por el grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático - IPCC, expresado en kg/TJ y equivalente al contenido de carbono multiplicado por 44/12 (Davies, et al, 2006), valor que se torna en una constante dentro de cada tratamiento: 1,96 para B10 y 1,31 para B100.

De acuerdo con los resultados de la relación aire/combustible λ , puede afirmarse que los dos combustibles tienen combustión completa con la generación de 1 kW o menos (tabla 7), lo que indica que, a mayor trabajo realizado,

la combustión es cada vez más incompleta, y esto aporta al incremento porcentual de emisiones de CO₂ y otros gases.

También puede inferirse que, a medida que aumenta la demanda de potencia, incrementa el factor de emisión o fracción molar de CO₂.

Tabla 7. Datos y resultados para relación relativa y fracción molar o FE calculado.

| DIESEL COMERCIAL B10 | PRIMERA CORRIDA | | | SEGUNDA CORRIDA | | | Promedios |
|--|------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|------------------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Potencia (kW) | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Temperatura (oC) | 18,08 | 17,1 | 17,1 | 15,14 | 17,3 | 18,08 | 17,13 |
| Duración (min) | 15,53 | 12,89 | 9,6 | 15,67 | 12,7 | 9,79 | 12,69 |
| Humedad relativa (%) | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Presión (hPa) | 820,86 | 820,86 | 820,86 | 820,86 | 820,86 | 820,86 | 820,86 |
| Relación λ= | 1,38 | 1,14 | 0,82 | 1,42 | 1,11 | 0,85 | 1,12 |
| Fracción molar CO ₂ = | 0,12 | 0,15 | 0,2 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,15 |
| Trabajo realizado (J)= | 465.980 | 773.240 | 864.300 | 470.150 | 761.930 | 881.520 | 702.853 |
| Factor emisión IPCC= | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| CO ₂ emitido (g) IPCC= | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Emisión CO ₂ (ml)= | 193,56 | 194,78 | 199,02 | 191,49 | 195,16 | 199,19 | 195,53 |
| Emisión CO ₂ (g)= | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,36 |
| Emisión (mg CO ₂ /gr diésel)= | 3,57 | 3,59 | 3,67 | 3,53 | 3,59 | 3,67 | 3,60 |
| Emisión (ppm)= | 121.321 | 146.518 | 201.505 | 118.597 | 149.616 | 194.521 | 155.346 |
| DIESEL COMERCIAL B10 | TERCERA CORRIDA | | | CUARTA CORRIDA | | | Promedios |
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Potencia (kW) | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Temperatura (oC) | 16,6 | 16,91 | 15,53 | 21,43 | 20,25 | 20,05 | 18,46 |
| Duración (min) | 15,52 | 12,5 | 9,44 | 15,76 | 12,94 | 9,58 | 12,62 |
| Humedad relativa (%) | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| Presión (hPa) | 817,81 | 817,81 | 817,81 | 817,81 | 817,81 | 817,81 | 817,81 |
| Relación λ= | 1,42 | 1,11 | 0,82 | 1,39 | 1,15 | 0,82 | 1,11 |
| Fracción molar CO ₂ = | 0,12 | 0,15 | 0,2 | 0,12 | 0,14 | 0,2 | 0,15 |
| Trabajo realizado (J)= | 465.480 | 750.170 | 849.465 | 472.865 | 776.430 | 862.005 | 696.069 |
| Factor emisión IPCC= | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,96 | 1,960 |
| CO ₂ emitido (g) IPCC= | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Emisión CO ₂ (ml)= | 192,15 | 194,94 | 198,06 | 195,3 | 196,31 | 200,62 | 196,23 |
| Emisión CO ₂ (g)= | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,36 |
| Emisión (mg CO ₂ /gr diésel)= | 3,54 | 3,59 | 3,65 | 3,6 | 3,62 | 3,7 | 3,61 |
| Emisión (ppm)= | 117.799 | 150.225 | 201.376 | 119.816 | 144.368 | 200.433 | 155.669 |

| BIODIÉSEL B100 | PRIMERA CORRIDA | | | SEGUNDA CORRIDA | | | Promedios |
|--|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|-----------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Potencia (kW) | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Temperatura (oC) | 26,15 | 24,38 | 22,61 | 21,82 | 19,26 | 18,28 | 22,083 |
| Duración (min) | 15,1 | 12,19 | 8,77 | 15,2 | 11,83 | 9,01 | 12,02 |
| Humedad relativa (%) | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| Presión (hPa) | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 |
| Relación λ = | 1,25 | 1 | 0,71 | 1,29 | 0,99 | 0,74 | 0,99 |
| Fracción molar CO ₂ = | 0,11 | 0,14 | 0,19 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,15 |
| Trabajo realizado (J)= | 452.880 | 731.560 | 788.925 | 455.880 | 709.850 | 810.975 | 658.345 |
| Factor emisión IPCC= | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 |
| CO ₂ emitido (g) IPCC= | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Emisión CO ₂ (ml)= | 170,24 | 169,97 | 170,35 | 167,83 | 167,35 | 167,99 | 168,95 |
| Emisión CO ₂ (gr)= | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| Emisión (mg CO ₂ /gr biodiésel) = | 3,14 | 3,13 | 3,14 | 3,09 | 3,08 | 3,09 | 3,12 |
| Emisión (ppm) | 109.882 | 135.843 | 185.282 | 107.050 | 136.877 | 178.712 | 142.274 |
| BIODIÉSEL B100 | TERCERA CORRIDA | | | CUARTA CORRIDA | | | Promedios |
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Potencia (kW) | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | |
| Temperatura (oC) | 17,5 | 18,48 | 19,07 | 22,61 | 20,64 | 15,73 | 19,01 |
| Duración (min) | 15,09 | 12,36 | 9,51 | 15,46 | 12,43 | 9,64 | 12,42 |
| Humedad relativa (%) | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| Presión (hPa) | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 | 818,49 |
| Relación λ = | 1,29 | 1,03 | 0,78 | 1,32 | 1,04 | 0,81 | 1,05 |
| Fracción molar CO ₂ = | 0,11 | 0,13 | 0,17 | 0,1 | 0,13 | 0,16 | 0,13 |
| Trabajo realizado (J)= | 452.640 | 741.460 | 855.810 | 463.670 | 745.740 | 867.300 | 687.770 |
| Factor emisión IPCC= | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 |
| CO ₂ emitido (g) IPCC= | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Emisión CO ₂ (ml)= | 165,55 | 166,84 | 168,11 | 168,28 | 167,81 | 166,3 | 167,15 |
| Emisión CO ₂ (gr)= | 0,3 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| Emisión (mg CO ₂ /gr biodiésel) = | 3,05 | 3,07 | 3,1 | 3,1 | 3,09 | 3,06 | 3,08 |
| Emisión (ppm) | 106.767 | 131.410 | 169.642 | 104.613 | 130.811 | 164.906 | 134.691 |

Fuente: Autores. Datos obtenidos del experimento y de cálculos de la presente investigación

Con respecto a la fracción Molar, en cada tratamiento se observa que, al generar mayor potencia, la fracción molar del CO₂ el cual tiene a es mayor (ver Figura 6).

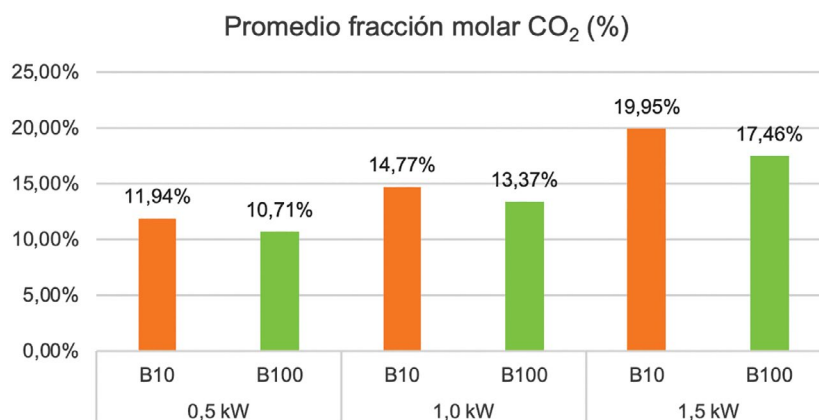


Figura 6. Fracción molar con tres potencias generadas y dos combustibles empleados.

Fuente: Autores. *Nota:* B100 representa el biodiésel 100% y B10 el diésel comercial.

También se observa que, en el caso de diésel comercial B10, la cuarta corrida generó más emisiones, no necesariamente por fatiga del motor, dado que en el caso de B100 la primera corrida generó mayor cantidad de CO₂. Cabe aclarar que, al generar mayor potencia, hay mayor emisión de CO₂ revisando la (Figura 7), lo cual se explica porque, al generar más potencia, el motor consume mayor cantidad de diésel y, por consiguiente, emite mayor cantidad de CO₂.

Con el uso de B100 se emitió mayor cantidad de CO₂ en la primera corrida de la mayor potencia generada. Con potencias de 0,5 kW y 1,0 kW, en la tercera corrida, se emitió menor cantidad de CO₂ (Figura 8). Esto indica que la leve diferencia de emisión entre corridas, en milésimas de gramo de CO₂, puede deberse a variaciones imperceptibles en la preparación de cada corrida.

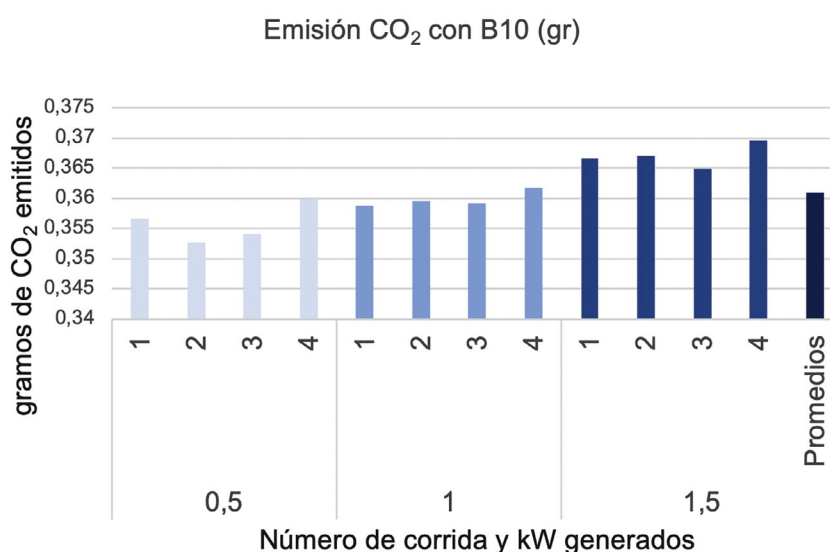


Figura 7. Comparación emisión de CO₂ entre corridas con B10.

Fuente: Autores, resultados del experimento obtenidos en Statgraphics.

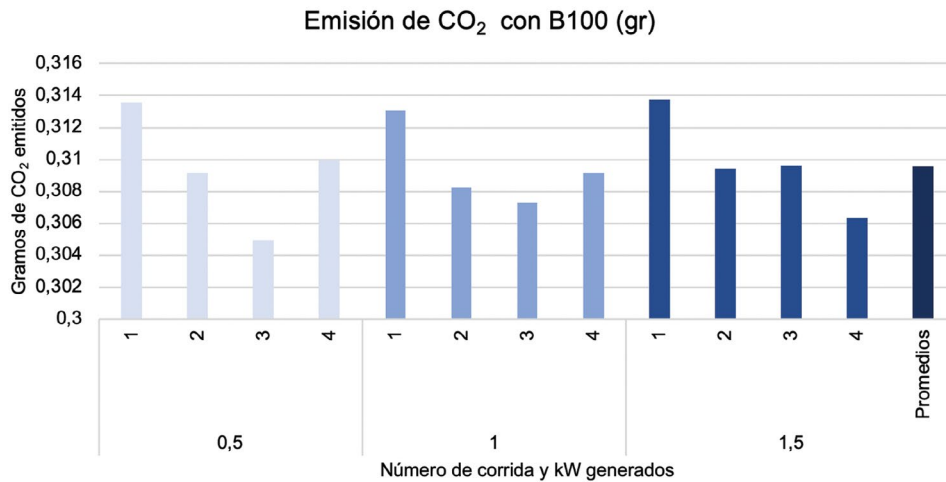


Figura 8. Comparación de emisión de CO₂ entre corridas con B100.

Fuente: Autores. Resultados del experimento obtenidos en Statgraphics.

La Fracción molar explica el trabajo realizado en el 96% y 81%, Con B10 y B100, respectivamente (ver Figura 9).

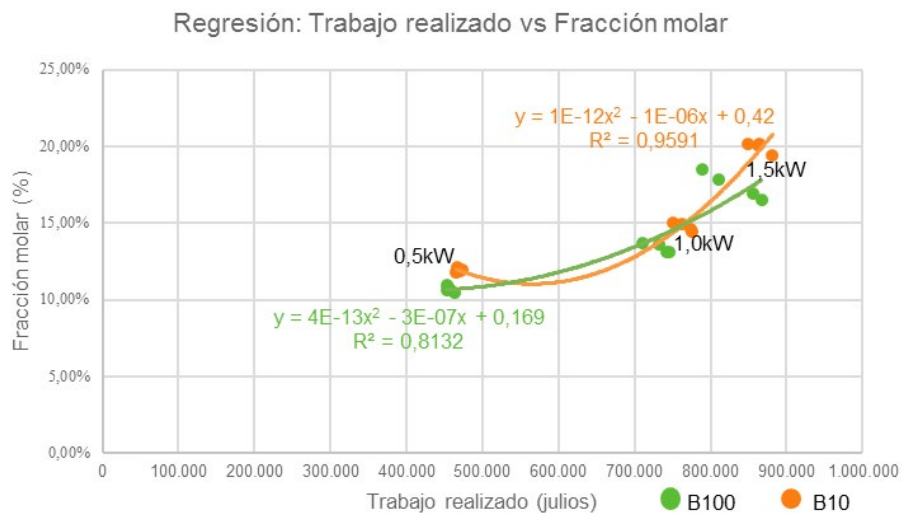


Figura 9. Influencia del Trabajo realizado sobre la Fracción molar.

Fuente: Autores. Resultados del experimento obtenidos en Excel.

En igual volumen, si se utilizan los combustibles B10 y B100 independientemente en el mismo motor, se consumen en el mismo tiempo, siempre y cuando funcionen en las mismas condiciones ambientales y sean sometidos al mismo trabajo.

La temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica, inciden en forma incipiente en la emisión de CO₂ generada por combustión de diésel o biodiésel, pues la fracción molar varió entre las diferentes repeticiones, en cantidades pequeñas contadas en centésimas.

Discusión

Por una parte, las diferencias en las estimaciones de CO₂ de Gutiérrez (2016), 2,6 kg/l; IPCC 20.200 g/GJ (IPCC, 2011); Orovio, 28 g/l km (Orovio, 2010); y de la presente investigación, 4,15 g/l con B10. Al aplicar el FE de IPCC metodología nivel dos (Harnisch, 2006), las emisiones presentan valores bajos, comparadas con resultados del experimento.

El FE de EPA-USA es de 1,15, multiplicado por lb de diésel empleado en cada HP-h (EPA, 2010). Así, al generar los siete caballos de fuerza del motor, durante 12,6 min promedio, con 100 g de diésel, se emiten 1,298 g de CO₂: el triple del promedio de emisión obtenido, 0,361 g de CO₂. Esta es la metodología con resultados más parecidos a los de este experimento.

Por otra parte, respecto al beneficio ambiental de B100 sobre B10, UpTown Oil de París, cree que sustituir diésel por B100 obtenido de aceite usado de cocina ACU, ahorra 80% emisiones de CO₂ (Uptown, 2014), al contrario, Ulusoy, como cita Enweremaduen, explica que incrementa en 2,6% (Enweremadu y Rutto, 2010).

El Departamento de Energía de los EE. UU. (DOE), afirma que el B100 producido con soya emite 2.661 g CO₂/gal y el diésel 12.360 g CO₂/gal (DOE, 2014).

Dorado, et al (2003) explican que el B100 emite 8,6% menos de CO₂. En Washington se observó que, en un motor a 3.000 rpm hubo una disminución de CO₂ del 10% usando B100 (Zafer et al., 2007), además la mayor concentración de CO₂ se presentó en la mezcla B50 en cualquier rpm (Chang & Chan, 2007). El presente experimento obtuvo un ahorro de entre 2% y 8% de emisiones CO₂ usando B100 a cambio de B10.

En producción, transporte y comercialización, B10 y B100, emiten similares cantidades de CO₂;

sin embargo, las plantaciones para obtener aceite como materia prima de B100 consumen cantidades considerables de CO₂ (Acosta, 2018).

Además de la reducción de hasta el 8% las emisiones de CO₂ en gases de escape, se reducen las emisiones de este gas en todo el proceso de obtención del B100.

Finalmente, acerca de la responsabilidad social, es necesario que las empresas de transporte con diésel sustituyan paulatinamente B10 por B100, debido al ahorro porcentual de emisión, en las condiciones actuales, aunque el consumo de B100 sea menor al generar el mismo trabajo, el costo de un galón de biodiésel es de pesos colombianos 11.515,16 mientras que el costo del B10 es de 8.388 pesos colombianos por galón (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2020).

4. CONCLUSIONES

La fracción molar o factor de emisión, y la emisión de CO₂ son significativamente menores cuando el combustible, sea B10 o B100, tiene presencia de oxígeno, y mayor proporción de hidrógeno que de carbono. Por lo tanto, se reduciría la emisión de CO₂ si las empresas productoras y mezcladoras de combustibles apuntan sus metas al alcance de estas proporciones.

En la presente investigación el uso de diésel B10 presenta una mayor emisión de CO₂ respecto del uso del biodiésel B100, debido a la composición molecular de los combustibles.

Las emisiones globales de CO₂, provenientes de la combustión de biodiésel en motores de compresión y automotores diésel, se reducirían si se sustituyera todo el combustible B0 a B10 por combustible B100, a esta reducción se sumará la minimización lograda en el proceso de obtención de biodiésel en sustitución del proceso de obtención de combustible fósil.

Teniendo en cuenta que esta sustitución aportará a las metas del protocolo de Kioto y la Cumbre de París, y ante a la creciente demanda de biodiésel, la implementación y desarrollo de empresas procesadoras de biocombustibles constituye una alternativa **óptima**. Además, si el B100 se obtiene de biomasa reciclada, se tendrán beneficios ambientales, económicos y sociales de alto impacto.

El IPCC debe incluir en su metodología el proceso analítico para la determinación del factor de emisión, dado que actualmente solo entrega valores preestablecidos para multiplicarlos por el consumo de combustible, lo cual no genera confiabilidad en la medición de emisiones de CO₂.

Independientemente de la escala de medición de emisiones de CO₂, es importante lograr mezclas con menor cantidad de carbonos, aunque incrementa el contenido de hidrógeno y oxígeno. Por lo tanto, se debe incentivar el uso de biocombustibles que tienden a mezcla tipo B100.

Por su parte, el motor empleado se debe utilizar para generar potencias iguales o menores de 1 kW, para generar combustión completa y minimizar las emisiones de CO₂ y otros gases.

Aunque las empresas de transporte tengan la voluntad de emplear combustible B100 para minimizar la emisión de CO₂, actualmente dicho el costo no permite adoptar esta política ambiental por efectos negativos en la economía de las empresas, a no ser que, por implementar esta medida ambiental, se incursione en el sistema de bonos de carbono, lo cual, posiblemente produciría utilidad. No obstante, este análisis debe ser objeto de futuras investigaciones.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Cada autor contribuyó de acuerdo con su asignación, así:

Primer autor: metodología, investigación, trabajo de campo, análisis de datos, conceptualización, escritura del borrador y original.

Segundo autor: investigación, conceptualización, análisis de datos, revisión y edición.

Tercer autor: metodología, investigación, trabajo de campo. **Cuarto autor:** adquisición de recursos, análisis de datos y revisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte del proyecto "Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores", cuya autora, propuso caminos para el diseño de la presente investigación, en la parte metodológica y conceptual (Fonseca, 2012). También se agradece el aporte académico y financiero de la Universidad Cooperativa de Colombia.

LITERATURA CITADA

- Acosta, F. (2008) *Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala*, Primera ed., Lima: Soluciones prácticas ITDG, 2, p. 7.
- Brusca, S., Famoso, F., Lazafame, R., Mauro, S., Messina, M., Strano, S. (2016). PM₁₀ Dispersion Modeling by Means of CFD 3D and Eulerian-Lagrangian Models: Analysis and Comparison with Experiments. *Energy procedia*, nº 101, pp. 101, 329-336, 9.
- Castillo, F. (2005) *Biotecnología ambiental*, Madrid, España: Editorial TÉBAR, p. 147.
- Chang, Y., y Chang, B. (2007). Combustion characteristics of waste-oil produced biodiésel/diésel fuel blends, Primera ed., Madrid: ELSERVIER, p. 1779.
- Davies, CH., Harnisch, J., Lucon, O., Scott, R., Saile, S., Wagner, F., Wlas, M. (2006). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, combustión móvil, Panel Intergubernamental Para el cambio climático, Ginebra Suiza, CAp 3, p.12. Available:

- DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE USA - DOE. (2014). ¿Does biodiesel reduce greenhouse gases?, New York.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN COLOMBIA - DPN. (2012). Desarrollo bajo en carbono para Colombia. El Banco Mundial. Washington Estados Unidos. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Desarrollo%20Bajo%20En%20Carbono%20Para%20Colombia.pdf>
- Dinero (2014). Revista virtual Dinero, 30 Enero. [En línea]. Available: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/colombia-tendra-35-millones-vehiculos-2020/168797>. [Último acceso: 30 Enero 2014].
- Dorado, M., Ballesteros, E., Arnal, J., Gómez, J., Y López, F. (2003). Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, nº 1, p. 1.
- Ecopetrol (2018). Febiocombustibles. Ecopetrol acp,» 2017. [En línea]. Available: <https://acp.com.co/web2017/es/asustos/economicos/125-informe-economico-octubre-mercado-de-combustibles-en-colombia-asi-avanzan-las-importaciones-y-el-consumo-de-gasolina-diesel-y-jet-fuel-en-2017/file>. [Último acceso: 4 12 2018].
- Environmental Protection Agency - EPA. (2010). Emisiones fuentes móviles diésel. Norma 3.3-6. Environmental Protection Agency, Washington.
- Enweremadu, A., y Rutto, B. (2010). Combustion, emission and engine performance characteristics of used cooking oil biodiesel-A review,» *Combustión biodiésel*, vol. 14, nº 1, p. 2866. 9 05 2020. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.036>
- FEDEBIOCOMBUSTIBLES (2020). Precios de biocombustibles, disponible en fecha 12 de mayo de 2020, 12 05 2020. [En línea]. Available <https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-precios-titulo-Biodiesel.htm>. [Último acceso: 2020].
- Fisher, R.A. (1935). *The Design of Experiments*. Edinburgh and London: Oliver and Boyd.
- Fonseca, N. (2012). Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores, Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 978-84-695-6653-4, pp. 117-120.
- GIUSEPPE DE BIASE FUNDADOR - BIASE (2020). Foto en catálogo virtual, de bombillo incandescente. Barquisimeto Venezuela. Recuperado de <https://www.grupodebiase.com/iluminacion/7007-iluminacion-bombillo-incandescente-100w-120v-anti-plaga-e27-ge-97762.html>
- Gutiérrez, C. (2016). La actuación frente al cambio climático, Primera edición. ISBN 978-84-613-0673-2 ed., Murcia: Edit.um, p. 88. Meta, Villavicencio.
- IMEDICIÓN (2020). Foto en catálogo virtual, de termo-anemómetro marca Proba referencia. Recuperado de: <https://imedicion.com.ar/producto/termo-anemometro-prova-avm07>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2018). Norma Técnica Colombiana, NTC 5444/2018. Norma Disponible en ICONTEC tienda virtual: <https://tienda.icontec.org/gp-biodiesel-para-uso-en-motores-diesel-especificaciones-ntc5444-2018.html> [Último acceso: 2020]
- IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf [Último acceso: 4 diciembre 2020].
- Lau, L. (2017). Research on the effect of particles in the atmosphere (pm2.5 and pm10) on the concentrations of gps signals,» *Sensors*, vol. 17, p. 508, 2017.
- LINIO (2020). Foto en catálogo virtual, de estufa eléctrica dos puestos marca Universal Royal. Bogotá Colombia. Recuperado 4 diciembre 2020. de: <https://www.linio.com.co/p/estufa-electrica-dos-puestos-universal-royal-lhk913>
- Mantilla, J., Roncancio, J., Acevedo, H. (2010). Análisis comparativo del desempeño y emisiones de un motor diésel de gran capacidad operando bajo dos escenarios: trabajo en ruta activa y trabajo en banco. *Ingeniería e Investigación. Universidad Nacional de Colombia*, vol. 30, nº 1, p. 119.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos, Segunda. ISBN 968-18-6156-6 ed., México D.F: Limusa Wiley, pp. 175-183.

- MUNDO BÁSCULAS (2020). Foto en catálogo virtual, de balanza digital control del peso marca Baxtran serie ABD. Barcelona España. Recuperado 4 diciembre 202. de: <https://www.mundobascu-las.com/balanzas-control-de-peso/483-balanza-digital-control-de-peso-serie-abd-capacidades-600g20kg.html>
- Orovio, A. M. (2010). Tecnología del automóvil, Primera edición ed., Madrid: Ediciones Paraninfo, p. 229.
- QUERCUSLAB (2020). Foto en catálogo virtual, de soporte universal de laboratorio. Madrid España. Recuperado 4 diciembre 2020 de: <https://quercuslab.es/soportes/725-soporte-universal-laboratorio.html>
- Ramos, P. (2008). Energías y cambio climático, Primera edición ed., Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca., p. 174.
- Simmons, P. (2015), Electrical wiring comercial, 15 ed., Stamford: CENGAGE Learning editors, p. 573.
- Tyson, K. S. (2016). Biodiésel Handling and Use Guidelines, Tercera edición ed., U. S. o. A. U. D. o. Energy, Ed., Washington, p. 5.
- Uptown L. (2014) <http://www.uptownoil.co>,» Fresh Vegetable Oil Deliveries Used Cooking Oil Collected 100% Recycled Biodiésel Improving Air Quality disponible en fecha 18 de octubre de 2014. [En línea]. Available: http://www.uptownoil.co.uk/co2_biodiésel.html&prev=search. [Último acceso: 2014].
- UYUSTOOLS (2020). Foto en catálogo de ventas virtual, de generador diésel eléctrico 2.0/2.2KW marca Launtop. Santiago de Chile. Recuperado 4 diciembre 2020 de: <http://www.uyustoolsiquique.cl/Generador-Diesel-Electrico-2.0/2.2-Kw-LDG220OCLE.html>
- VINTEX (2020). Foto en catálogo virtual, de catalizador de biodiesel mostrado en un beaker. Hanoi Vietnam. Recuperado 4 diciembre 2020 de: <http://sangiaodichcongnghe.vn/Catalyst-for-Green-Biodiesel-Production-from-Unrefined-Fedstock.html>
- Zafer, U., Mevlut, S., y Kocakb, R. (2007). The effect of biodiésel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diésel engine performance and exhaust emissions, Primera ed., Washington: ELSEVIER, p. 1940.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

