

## REVIEW / ARTÍCULO DE REVISIÓN

## Mejoramiento del Rendimiento de un Motor Diésel mediante la adición de nanopartículas de ZnO al diésel

### Diesel Engine Performance Improvement by adding ZnO nanoparticles to diesel fuel

Carlos Segovia\*, Ignacio Benavides, Jorge Melo, Víctor Montenegro

DOI. 10.21931/RB/2022.07.01.27

Universidad Técnica del Norte Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, 100105, Imbabura, Ecuador.  
Corresponding author: cmsegovia@utn.edu.ec

**Resumen:** El estudio analizó el comportamiento de un MEC (Motor de encendido por compresión) cuando se adiciona nanopartículas de ZnO (Óxido de zinc), en proporciones de 144, 233 y 377 ppm. Las pruebas fueron desarrolladas usando combustible diésel con una concentración de 300 ppm de azufre con el objetivo de analizar el consumo y cómo este influye en las emisiones contaminantes y en el rendimiento del motor. Para los ensayos se utilizó un camión 2.6 ID (inyección directa) de 4 cilindros en línea, con una potencia de 85,57 HP a 4000 rpm y un torque de 167 Nm a 2200 rpm, un analizador de gases, un opacímetro y un banco dinamométrico. Las pruebas se realizaron a una altura de 2200 m s.n.m., con una presión atmosférica de 78,5 kPa. Los resultados obtenidos en cuanto al torque indican un incremento del 3,82%, mientras que en la potencia se evidencia un aumento del 3,46% con la adición de ZnO al diésel. En lo que respecta a emisiones contaminantes de CO se obtuvo una disminución del 35%. En cuanto al CO<sub>2</sub> los resultados mostraron una disminución del 4%. Los HC disminuyeron entre un 86% y 59%. El O<sub>2</sub> disminuyó un 1%. Para los NO<sub>x</sub>, la adición de nanopartículas no evidenció mejora alguna en la mitigación de este gas. Finalmente, en la prueba de opacidad se obtuvo una disminución del 39,67%. La aplicabilidad de este estudio corrobora que la aditivación del combustible con nanopartículas mitiga las emisiones contaminantes sin sacrificar notoriamente las prestaciones de los MEC.

**Palabras clave:** Nanopartículas, ZnO, potencia, MEC, torque, emisiones, opacidad.

**Abstract:** The behavior of a CI (Compression Ignition) engine was analyzed when ZnO (Zinc Oxide) nanoparticles were added, in proportions of 144, 233 and 377 ppm. The tests were developed using diesel fuel with a concentration of 300 ppm sulfur to analyze consumption and how it influences pollutant emissions and engine performance. The tests used a 2.6 ID (direct injection) 4-cylinder in-line truck, with an output of 85.57 HP at 4000 rpm and a torque of 167 Nm at 2200 rpm, a gas analyzer, an opacimeter and a dynamometer. The tests were carried out at an altitude of 2200 m.a.s.l., with an atmospheric pressure of 78.5 kPa. Obtained results in terms of torque indicate an increase of 3.82%, while in power, an increase of 3.46% is evident with the addition of ZnO to diesel; in terms of polluting emissions of CO, a decrease of 35% was obtained. As for CO<sub>2</sub>, the results showed a decrease of 4%. HC decreased from 86% to 59%. O<sub>2</sub> decreased by 1%. The addition of nanoparticles showed no improvement in the mitigation of NO<sub>x</sub>. Finally, the opacity test shows a decrease of 39.67%. The applicability of this study corroborates that the addition of nanoparticles to diesel fuel mitigates pollutant emissions without significantly sacrificing the performance of CI engines.

**Key words:** Nanoparticles, ZnO, power, CI engine, torque, emissions, opacity.

## Introducción

La crisis climática provocada por las emanaciones peligrosas de los motores de combustión interna<sup>1,2</sup> a generado grandes preocupaciones y nuevos retos a la comunidad científica, los cuales buscan optimizar la uniformidad de la provisión de materia prima y fomentar el uso de energías sustentables<sup>3</sup>.

Los motores MEC son más eficientes que los motores MEP (motores de encendido provocado) y por ende menos contaminantes<sup>4</sup>, perjudicialmente un combustible diésel con altas concentraciones de azufre emana más vapores tóxicos al aire, tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono<sup>5</sup>, que son nocivos para el medio ambiente y la salud de las personas<sup>2</sup>.

Nuevas tecnologías han establecido que mediante la adición de compuestos metálicos al combustible fósil se ha logrado reducir notablemente las emisiones contaminantes<sup>6</sup>. En los carburantes incompresibles la caracterización fisicoquímica de las nano partículas muestra un área superficial más determinada, debido a que ocurre con mayor facilidad la dispersión, reteniendo también una mezcla con mayor estabilidad por tiempos más prolongados. Permitiendo que la oxidación y liberación de energía sea más rápida y mayor respectivamente<sup>7</sup>. La adición al combustible merma las emisiones de material particulado, así como el retraso de la ignición<sup>8</sup>. Una de las fortalezas del ZnO es la capacidad para la retención de oxí-

**Citation:** Segovia C, Benavides I, Melo J, Montenegro V. Mejoramiento del Rendimiento de un Motor Diésel mediante la adición de nanopartículas de ZnO al diésel. *Revis Bionatura* 2022;7(1). 27. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.01.27>

**Received:** 2 December 2021 / **Accepted:** 21 January 2022 / **Published:** 15 february 2022

**Publisher's Note:** Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**Copyright:** © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



geno, lo que desencadenará en una oxidación concurrente de monóxido de carbono e hidrocarburos, además de la reducción de óxidos de nitrógeno y azufre, mitigando así las emisiones<sup>9</sup>.

Centró sus estudios en la adición de nanopartículas al diésel, empleando Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de aluminio) o TiO<sub>2</sub> (óxido de titanio) con tamaños de partícula inferiores a 45 nm en concentraciones de 25, 50, 100 y 150 ppm, mejorando la conductividad térmica, el número de cetano y viscosidad, mejorando al proceso de combustión<sup>10</sup>.

La presente investigación valora el comportamiento del motor 2.6 ID de 4 cilindros en línea, luego de mezclar ZnO al diésel, con el fin de contribuir en estudios respecto a combustibles alternativos, robusteciendo la matriz productiva del Ecuador, y a su vez mitigar las emisiones contaminantes.

El Ecuador se ha visto limitado a importar vehículos diésel con las últimas tecnologías, esto debido a la mala calidad del combustible que se comercializa. En otras latitudes el carburante diésel cumple y satisface las normativas Euro V y VI, las cuales establecen concentraciones de hasta 50 ppm de azufre; en el País, se expende un combustible con rangos superiores a las 300 partículas por millón de azufre. En consecuencia, el presente estudio pretende coadyuvar en la mejora del com-

bustible con el fin de mitigar las emisiones contaminantes sin sacrificar las prestaciones de los motores MEC.

## Materiales y métodos

### Caracterización Físicoquímica De Las Nanopartículas ZnO

Las nanopartículas de ZnO tienen la caracterización físicoquímica detallada en la tabla 1. Estas pueden presentar diferentes comportamientos a causa de una mayor energía y área superficial.

### Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)

Se aprecia una repartición homogénea en la escala de 100 nm, las nanopartículas de ZnO presentan una constitución semi-hexagonal, la imagen TEM (microscopio de transmisión electrónica) ha permitido calcular el tamaño promedio, entre 10 ~ 30 nm. El círculo rojo muestra afluencia de las nanopartículas y el círculo amarillo la dispersión de las mismas<sup>12,13</sup>.

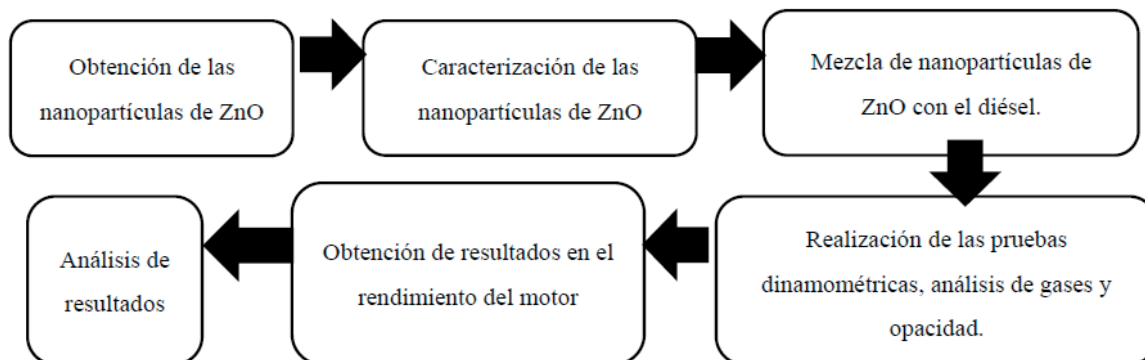


Figura 1. Proceso metodológico (secuencia metodológica seguida en el proceso de investigación).

Parámetros	Características
Forma	Polvo
Color	Blanco lechoso
Olor	Inodoro
Punto de fusión / intervalo de fusión	1975 °C
Peligro de explosión	El producto no tiene peligro de explosión.
Densidad	A 20 °C 5.606 g / cm <sup>3</sup>
Solubilidad en / miscibilidad	Agua: Insoluble

Tabla 1. Propiedades físicoquímicas de las nanopartículas ZnO.

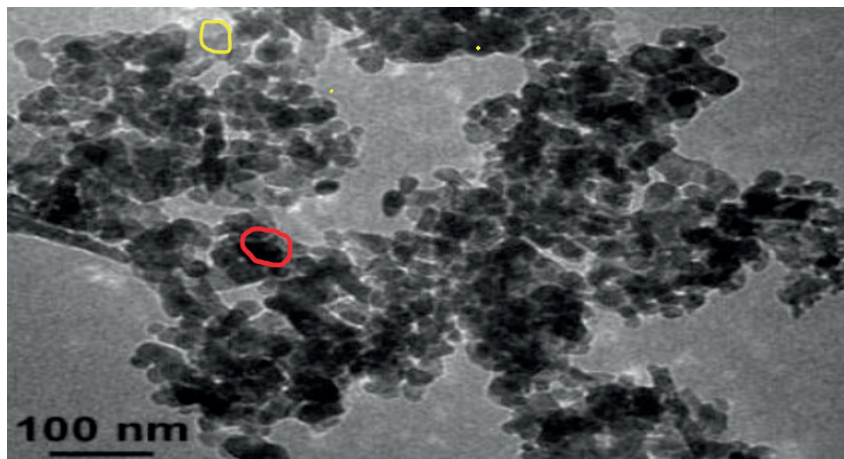


Figura 2. Imagen Microscopía Electrónica de la nanopartícula de ZnO<sup>11</sup>.

### Caracterización mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)

El método de microscopía electrónica de barrido (MEB), permite analizar la morfología del material. La figura 3 indica similitud en la caracterización por MEB y TEM.

Las imágenes muestran a las nanopartículas de ZnO con un rango de tamaño desde 2400x hasta 15000x, realizadas con el equipo detector de trazas (ETD), imágenes con electrones secundarios y topografía, permitiendo una mejor nitidez.

La Figura 4 proyecta a 15000x con detector ETD, que hay aglutinados inconsistentes y porosos de partículas enlazadas entre sí, como se aprecia en la figura 3c, las figuras 3a y 3b muestran mayor esparcimiento. Al comparar morfológicamente con la figura 2, se establece un valor aproximado menor a 30 nm, según lo especificado por el proveedor<sup>11</sup>.

### Preparación de las mezclas

El diésel y las nanopartículas de ZnO se preparan vertiendo tres cantidades diferentes para obtener tres mezclas. Las cantidades fueron de 144, 233 y 377 ppm. Estas mezclas se obtuvieron mediante baño ultrasónico, este método mejora los fenómenos de cavitación capaces de desagregar partículas en un medio líquido<sup>9</sup>, las muestras de 144 ppm y 233 ppm fueron caracterizadas fisicoquímicamente.

#### 144 ppm

1152 mg=8000 ml

$$\frac{X_1}{800 \text{ ml}} = \frac{1152 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad (1)$$

$$X_1 = \frac{1152 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

#### 233 ppm

1864 mg=8000 ml

$$\frac{X_2}{800 \text{ ml}} = \frac{1864 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad (2)$$

$$X_2 = \frac{1864 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

$$X_2 = 186 \text{ mg}$$

#### 377 ppm

3016 mg=8000 ml

$$\frac{X_3}{800 \text{ ml}} = \frac{3016 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad (3)$$

$$X_3 = \frac{3016 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

$$X_3 = 301 \text{ mg}$$

### Configuración Experimental

Después de purgar el sistema de inyección diésel, se procedió a realizar las pruebas con cada una de las mezclas (144, 233 y 377 ppm), con el fin de obtener datos de potencia, torque y cuantificar las emisiones y opacidad, dichos ensayos fueron realizados en un banco dinamométrico estático y con un analizador de gases y opacímetro, respectivamente.

## Resultados

### Imágenes MEB De ZnO

La Figura 5 muestra que las partículas de ZnO son homogéneas en estado aglomerado y disperso. Esta característica puede ser importante para obtener una mezcla estabilizada con diésel fósil<sup>11</sup>.

Las imágenes muestran el tamaño nanométrico del material particulado. Las nanopartículas de ZnO son capaces de potenciar las propiedades físicas de diversos materiales por sus numerosas propiedades entre las que destacan su actividad fotocatalíticas, anti microbiana y de protección UV<sup>14</sup>. Las nanopartículas usadas presentan el tamaño y la caracterización apropiada para generar la actividad catalítica en el proceso de combustión de un MEC.

### Pruebas Fisicoquímicas

Se determina que, de los seis ensayos realizados según normas nacionales e internacionales, con la adición de 144 y 233 ppm al diésel, dos están dentro de los estándares de calidad y cuatro están por debajo de los permitidos por dichas normas. Tal es el caso para el ensayo de destilación al 90%, el cual se encuentra por debajo del límite máximo dictaminado por las normativas mencionadas, dicho ensayo permite analizar la eficiencia del arranque y el encendido del motor a altas temperaturas de operación<sup>15</sup>. La densidad a 15°C disminuyó en un 2% respecto al límite mínimo permitido por las normas para las dos mezclas, dicha baja no ocasionó una disminución en el tiempo de inyección, es decir no afectó al proceso de combustión, ya que la potencia no disminuyó, de hecho, se incrementó ligeramente, lo mismo ocurre para las emisiones que se vieron favorecidas al menos con las dos mezclas (144 y 233 ppm). En cuanto al índice de cetano, se obtuvo un ligero aumento con la adición de 144 ppm, en el orden del 2,6 % y con 233 ppm del 2,2%, en comparación a lo establecido por las normas ASTM e INEN<sup>16,17</sup>, lo que se traduciría en una reducción del ruido durante la combustión, una aceleración más amortiguada, menor tiempo entre la inyección y la combustión, permitiendo que el consumo de combustible sea más homogéneo e integral.

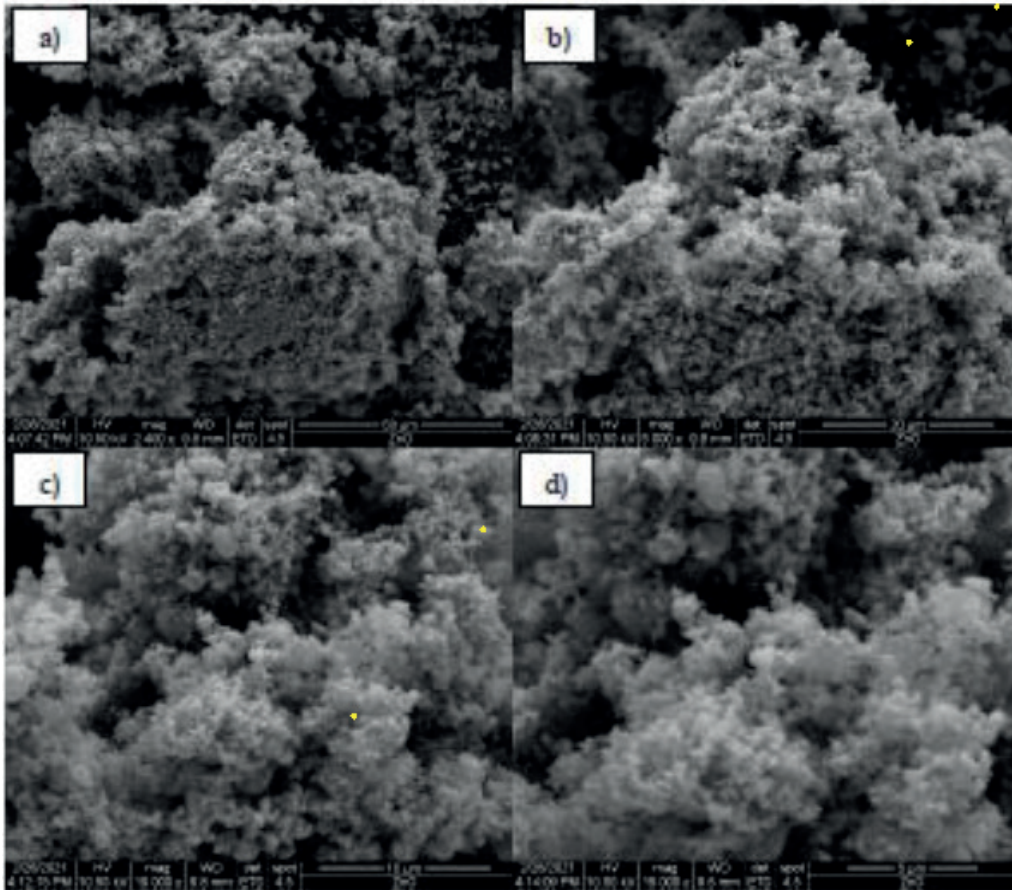
Mientras que, en el ensayo de corrosión de la lámina de cobre se corrobora que las mezclas con 144 y 233 ppm son combustibles aptos para el uso en MCI (Motores de combustión interna alternativos), ya que se obtuvo una clasificación 1a<sup>18</sup>. La viscosidad cinemática a 40 °C reportó resultados inferiores a los declarados por las normas, con 144 ppm se evidenció una reducción del 14,57 % y con 233 ppm del 16% respecto al mínimo valor de 3,5 cSt requerido, repercutiendo en la inyección atomizada del combustible en el cilindro. Finalmente, con la adición de 144 y 233 ppm en el diésel el poder calorífico neto reflejó una disminución del 0,60% y del 0,59% respectivamente, lo que desencadenaría en una baja economía de combustible.

### Pruebas Dinamométricas

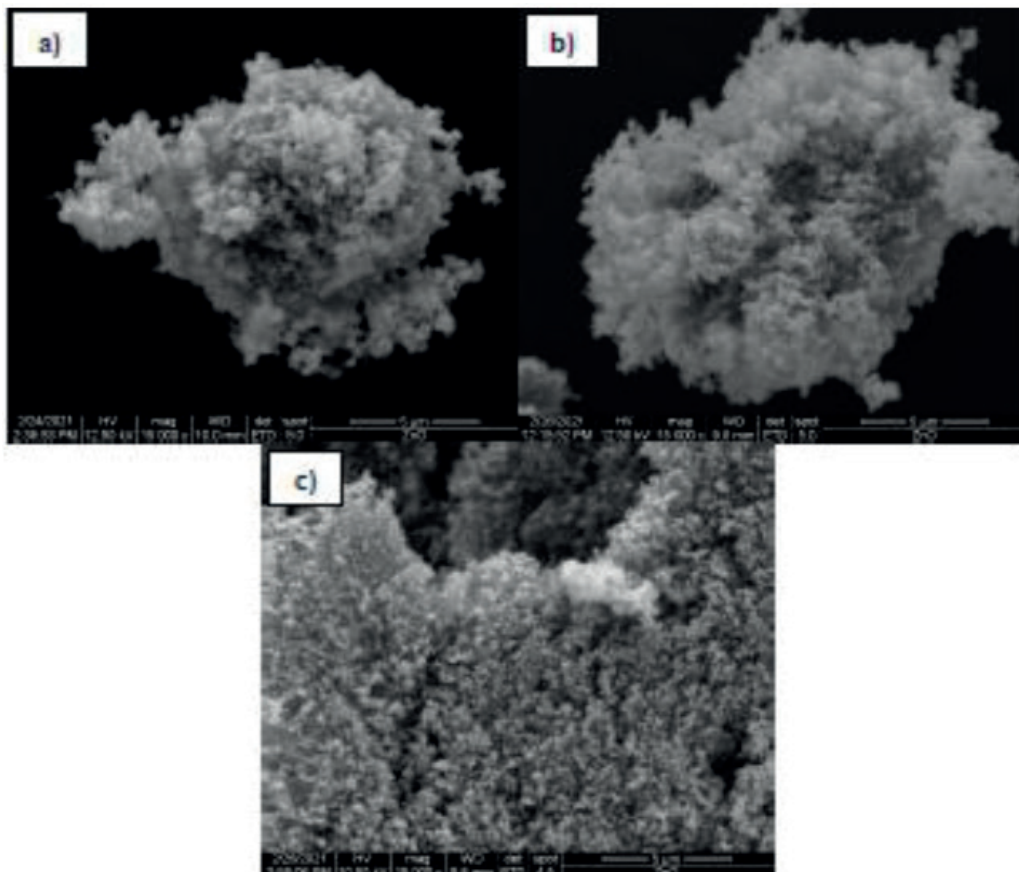
Se empleó un dinamómetro de chasis, los ensayos se llevaron a cabo en un camión 2.6 ID (inyección directa) de 4 cilindros en línea cuyas características se evidencian en la tabla 3. Cabe recalcar que, al momento de realizar las pruebas el odómetro del vehículo registraba 320000 km de recorrido, además, las respectivas mediciones se realizaron a 2200 m s.n.m., con una presión atmosférica de 78,5 kPa y humedad relativa promedio del 56%.

Al emplear únicamente diésel se obtuvo una potencia pico

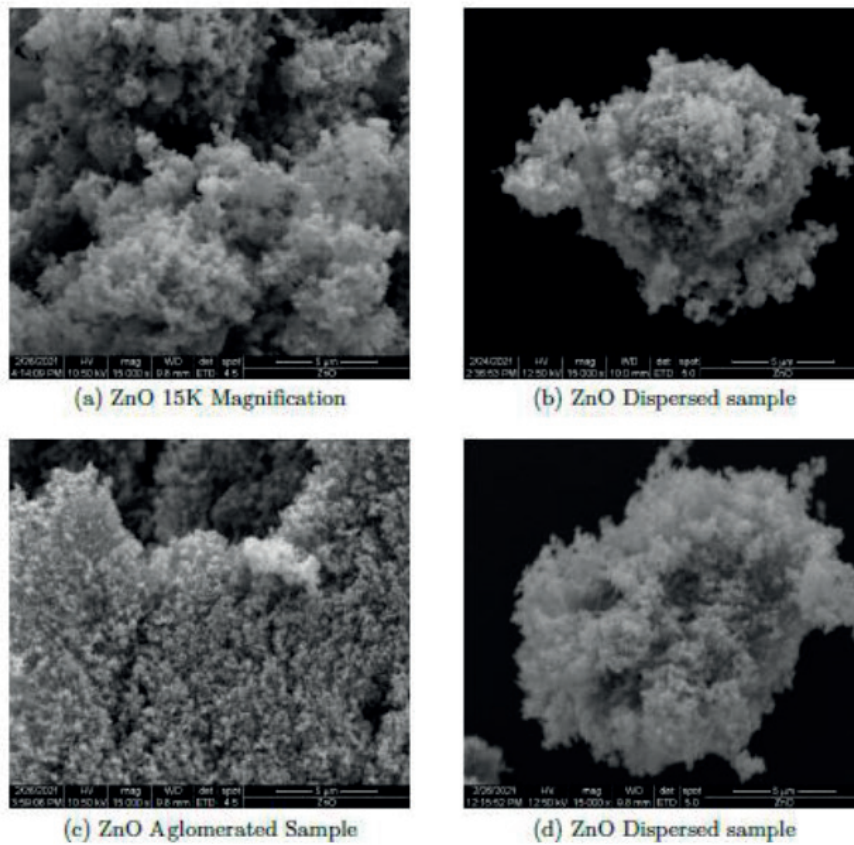




**Figura 3.** Imágenes a diferentes magnificaciones: a) 2400X, b) 5000X, c) 10000X y d) 15000X.



**Figura 4.** Imágenes de diferentes áreas a 15000X, a) y b) dispersas y c) aglomeradas.



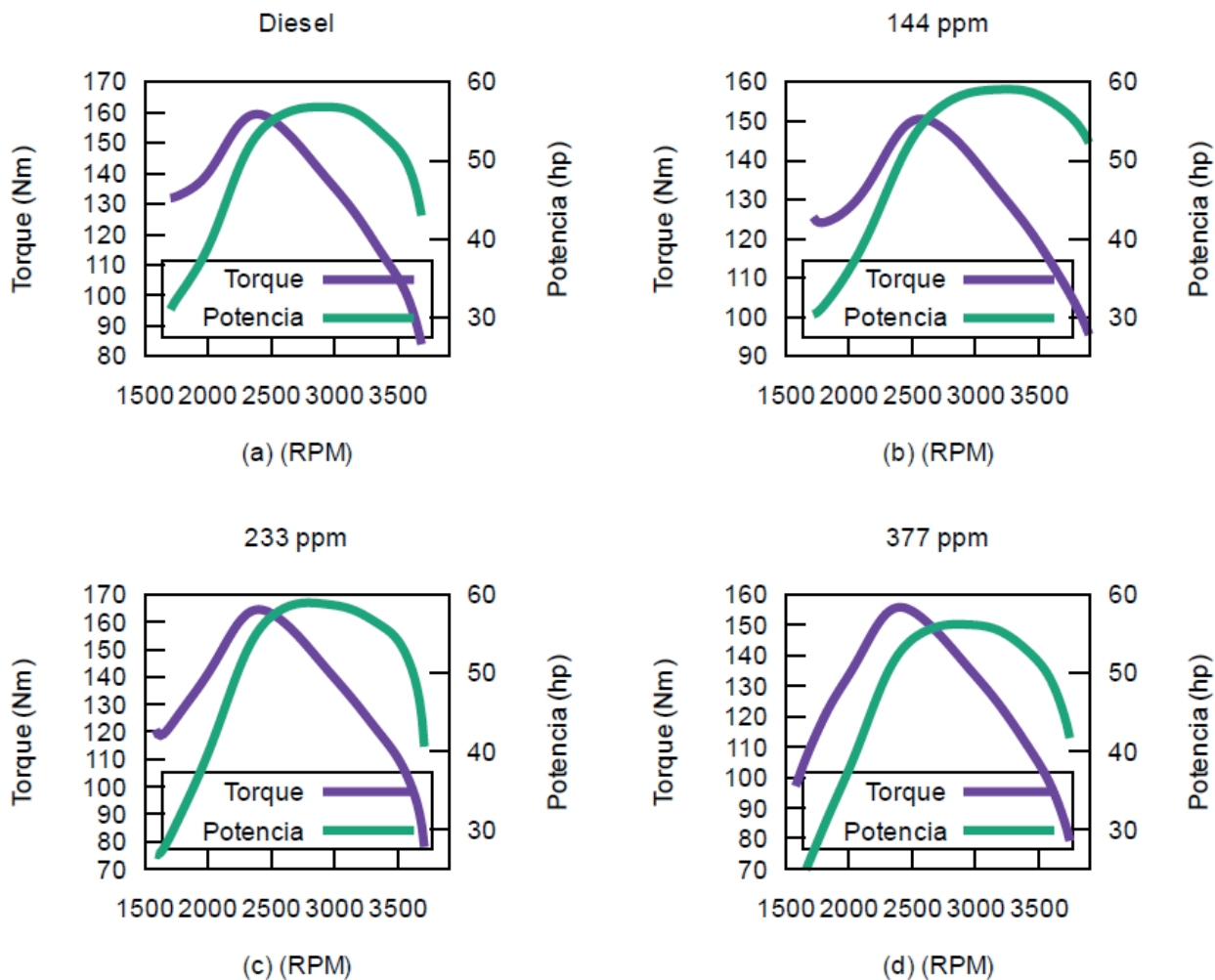
**Figura 5.** Imágenes de Microscopio de Barrido Electrónico. a) Aumento del ZnO; b) muestra dispersa del ZnO; c) muestra aglomerada del ZnO; d) muestra dispersa del ZnO.

Propiedad	Unidad	144 ppm	233 ppm	Norma ASTM	Norma INEN
Ensayo de Destilación al 90%	°C	342,2	343,3	Máx. 360	Máx. 360
Poder Calorífico Neto	MJ/kg	42,8397	42,8444	--	Min. 43,1
Viscosidad Cinemática @ 40°C	cSt	2,99	2,94	3,5 – 5	3,5 – 5
Densidad Relativa @ 15,5 °C	Kg/m <sup>3</sup>	842	842	860 - 900	890 - 900
Número de Cetano	–	50,03	50,01	49	49
Corrosión a Lámina de Cobre	–	1a	1a	Máx. 3	Máx. 3

**Tabla 2.** Caracterización fisicoquímica.

Características	Valor
Motor	Diésel 2.6iD 4 cilindros en línea- Bomba rotativa Co-vec-F
Cilindrada(cc)	2607
Diámetro x carrera(mm)	91,1 x 100
Relación de compresión	22,4:1
Potencia máxima (HP @ rpm)	85,57 @ 4000
Par de motor máximo (Nm @ rpm)	167 @ 2200
Transmisión	Manual de 5 velocidades
Tracción	Trasera

**Tabla 3.** Especificaciones Técnicas del vehículo<sup>19</sup>



**Figura 6.** Curvas de par y potencia (a) con diésel, par máximo 163 Nm, potencia máxima 57,8 hp. (b) Con 144 ppm par máximo 153,4 Nm, potencia máxima 59,8 hp; (c) Con 233 ppm par máximo 168,3 Nm, potencia máxima 59,7 hp; (d) Con 377 ppm par máximo 159,9 Nm, potencia máxima 57,2 hp.

Muestra	Potencia Máxima	Torque Máximo
Diésel	57,8 hp	162 Nm
144 ppm	59,8 hp	153,4 Nm
233 ppm	59,7 hp	168,3 Nm
377 ppm	57,2 hp	163 Nm

**Tabla 4.** Potencia y torque máximo obtenido en cada muestra.

de 57,8 HP @ 2766 rpm; con la adición de 144 ppm al diésel las pruebas entregaron valores de 59,8 HP @ 3345 rpm, mientras que, con 233 ppm de ZnO al diésel se consiguió 59,7 HP @ 2694 rpm y con 377 ppm 57,2 HP @ 2862 rpm.

En cuanto a la medición de torque, con el uso exclusivo de diésel se obtuvo 163 Nm @ 2344 rpm, y, al añadir 144, 233 y 377 ppm de nanopartículas de ZnO al combustible de origen fósil las pruebas dinamométricas entregaron 153,4 Nm @ 2581 rpm; 168,3 Nm @ 2405 rpm y 159,9 Nm @ 2405 rpm respectivamente.

Los mejores resultados en cuanto a potencia se refieren, se obtuvieron con la adición de 144 ppm de ZnO al diésel, seguido de la mezcla de 233 ppm. En lo que respecta al torque,

únicamente la adición de 233 ppm aventajó al erogado con diésel.

#### Pruebas De Emisiones

Se utilizó un analizador de gases, un cuentarrevoluciones y un medidor de temperatura, las pruebas se realizaron a tres regímenes de funcionamiento del motor: 800, 1500 y 2500 rpm, para luego cuantificar las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC, y NOx con cada una de las mezclas de 144, 233 y 377 ppm con diésel.

Con la adición de 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel, el CO disminuyó en 35% y 29% a 1500 y 2500 rpm respectivamente. Con 233 ppm a los mismos regímenes, se evi-



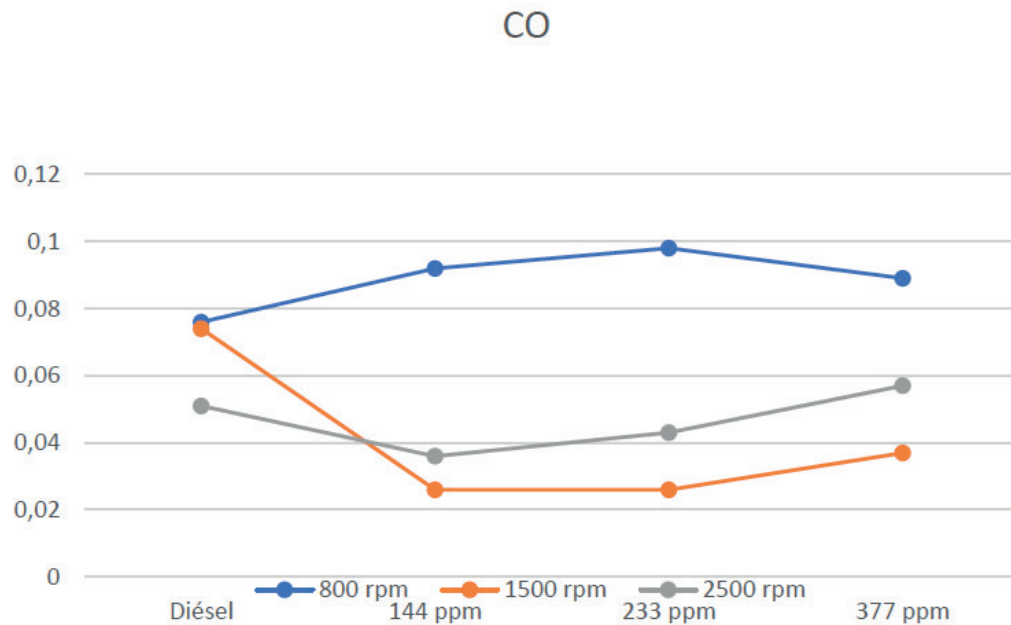


Figura 7. Comparación gráfica del CO.

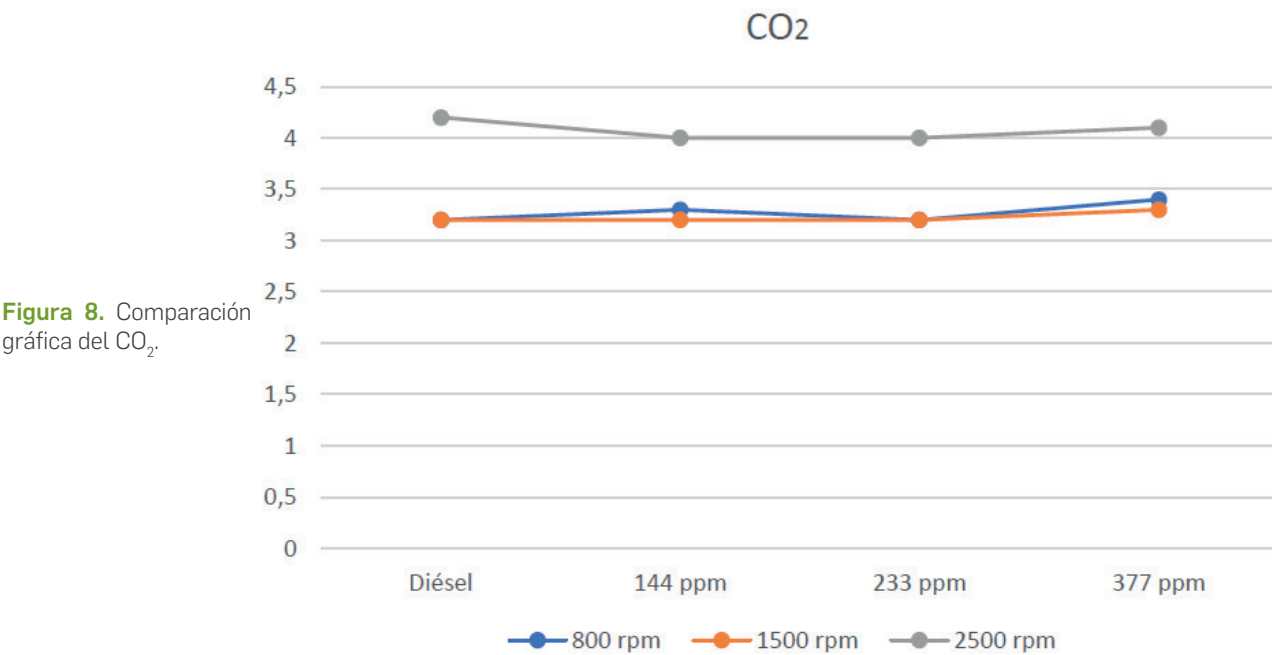


Figura 8. Comparación gráfica del CO<sub>2</sub>.

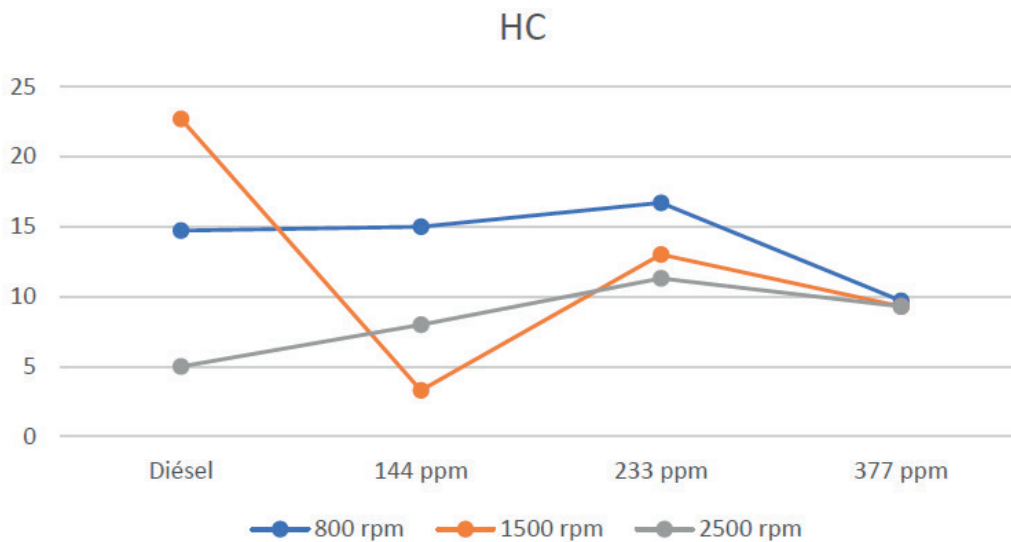


Figura 9. Comparación gráfica de HC.

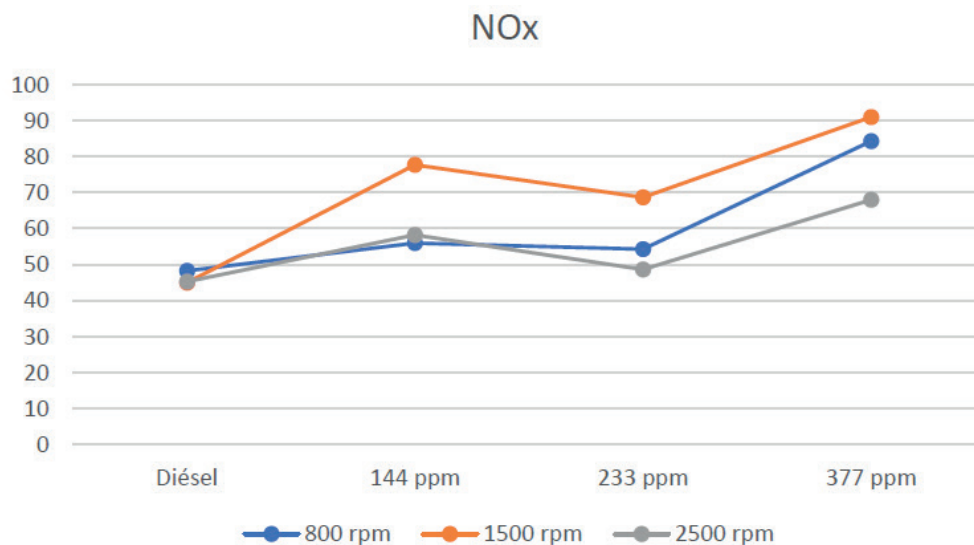


Figura 10. Comparación gráfica de NO<sub>x</sub>.

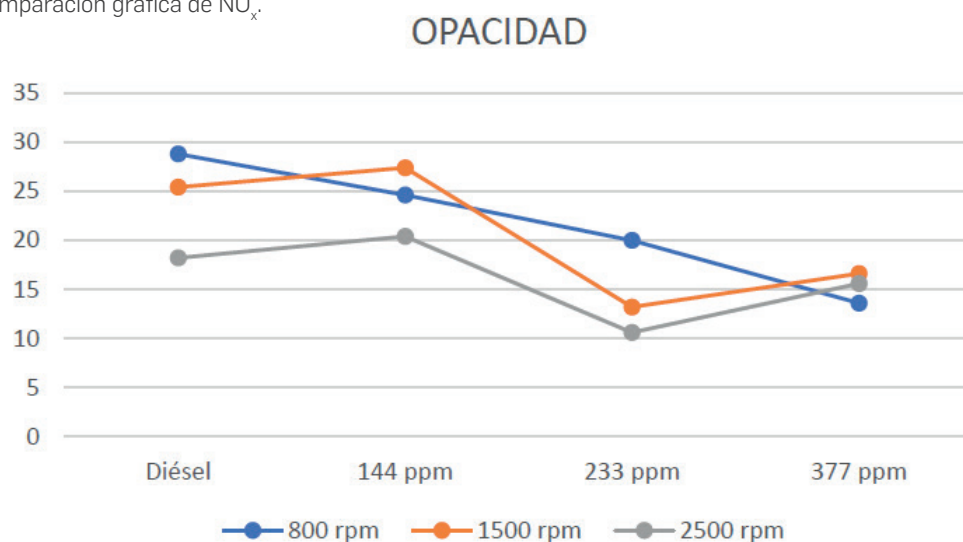


Figura 11. Comparación gráfica de los datos de las pruebas de opacidad.

Prueba	Unidad	Diésel	144 ppm	233 ppm	377 ppm
Opacidad	%	24,2	24,2	14,6	15,2

Tabla 5. Opacidad medida en el vehículo de prueba.

denció una disminución del 35% y 16%. Finalmente, con 377 ppm se obtuvo una disminución del 50% frente al uso únicamente con diésel a un régimen de 1500 rpm.

A 2500 rpm las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron en un 5%, tanto para la proporción de 144 como para la de 233 ppm, mientras que, con el uso de 377 ppm se evidenció una reducción del 4%.

En cuanto a HC emitidos con la adición de 144 y 233 ppm se evidenció una notable mejora, disminuyendo en un 86% y 43% respectivamente a un régimen de 1500 rpm; mientras que, con 377 ppm a 800 y 1500 rpm los hidrocarburos disminuyeron en el orden del 36 y 59% respectivamente.

Los NO<sub>x</sub> no evidenciaron disminución con ninguna de las adiciones de nanopartículas frente al uso de diésel.

Estudios previos no demuestran o no han sido llevados a cabo en ciudades de altura, como es el caso del presente trabajo, el cual se realizó a 2200 m s.n.m., con una presión de 78,5 kPa, por tal razón no se ha realizado comparación alguna.

La tecnología post-combustión de los gases de escape de los motores diésel ha ido evolucionando a lo largo de los años. Han surgido nuevos desafíos para los investigadores y los fabricantes de automóviles desde la aplicación de la norma Euro VI, en la que las emisiones de MP (MP) deben reducirse a 0.005 g/km<sup>20,21</sup>.

Las tecnologías de reducción de MP que implican modificaciones en el motor de combustión interna ya no son eficientes para cumplir con los requerimientos de la legislación actual. Por lo tanto, se debe considerar a la catálisis como la opción más viable para la eliminación del MP diesel<sup>22</sup>.

#### Pruebas de Opacidad

Todos los valores de opacidad obtenidos cumplen con la normativa vigente NTE INEN 2202:2013 (menor al 50%)<sup>23</sup>, el mejor valor se obtiene con la adición de 233 ppm, el cual representa un 39,67% menos que con el uso único de diésel en las pruebas de aceleración libre (régimen comprendidos entre 800 y 2500 rpm).



## Conclusiones

El CO, con la adición de 144 ppm de ZnO disminuyó un 35% y 29% a regímenes de 1500 y 2500 rpm respectivamente, al igual que con la mezcla de 233 ppm el CO se redujo en un 35 y 16%, los mejores resultados se obtuvieron con la adición de 377 ppm, logrando una reducción del 50%, a 1500 rpm.

A 2500 rpm se estableció una reducción del CO<sub>2</sub> en el orden del 5% con las tres mezclas.

A 1500 rpm los HC se redujeron un 86% con una proporción de 144 ppm, al mismo régimen con 233 ppm disminuye un 43%, finalmente con 377 ppm a 800 y 1500 rpm los HC disminuyeron en 36 y 59% respectivamente.

Los NO<sub>x</sub> no evidenciaron disminución alguna con la adición de nanopartículas de ZnO.

Los valores obtenidos de opacidad se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la normativa técnica ecuatoriana, la cual establece límites inferiores al 50%, la mezcla de 233ppm proporcionó los mejores resultados, en el orden del 39,67% en la prueba de aceleración libre (regímenes comprendidos entre 800 y 2500 rpm).

La potencia aumentó 3,46% con 144 ppm y 3,28% con 233 ppm, en cuanto al torque erogado, con la adición de 233 ppm se incrementó en un 3,25% sobre el uso con diésel sin nanopartículas.

Se concluye que la adición de nanopartículas de ZnO al diésel en un Motor MEC contribuye en la mitigación de las emisiones contaminantes, sin alterar notablemente sus prestaciones.

## Referencias bibliográficas

1. Achour, H. & Olabi, A. G. Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation. *J. Clean. Prod.* 112, 1778–1788 (2016).
2. Chamarravi Guerra, O. & Saavedra Calixto, G. Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá D.C. (Universidad de Manizales, 2013).
3. Guevara, P. Impacto de los biocombustibles y desarrollo de las energías alternativas en Colombia. *Rev. Gestión y Desarro. Libr.* 1, 23–32 (2016).
4. González, F. P. & Fernández, J. M. D. Motores de combustión interna alternativos. (Universitat Politècnica de València, 2011).
5. Blumberg, K. O., Walsh, M. P. & Pera, C. Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares.
6. Gan, Y. & Qiao, L. Combustion characteristics of fuel droplets with addition of nano and micron-sized aluminum particles. *Combust. Flame* 158, 354–368 (2011).
7. David, Q. & Guayara, E. B. Escuela politécnica nacional facultad de ingeniería química y agroindustria estudio del efecto de nanoaditivos sobre la eficiencia de combustión del diésel y la eficiencia neta de una fuente fija de combustión proyecto previo a la obtención del título de .

8. Venkatesan, H., Sivamani, S., Sampath, S. & Kumar, D. M. A Comprehensive Review on the Effect of Nano Metallic Additives on Fuel Properties, Engine Performance and Emission Characteristics. vol. 7 (2017).
9. Sharma, A. K., Sharma, A., Ahmad, N. & Khan, W. Zinc Oxide Nanoparticle Fuel Additives for Improved Efficiency and Emissions of Internal Combustion Engines. *Adv. Sci. Eng. Med.* 8, 135–139 (2016).
10. Nassir, A. K. & Shahad, H. A. K. Experimental Study of a Diesel Engine Performance Fueled with Different Types of Nano-Fuel. *J. Univ. Babylon Eng. Sci.* 26, 36–57 (2018).
11. ssnano. Product\_-\_ZnO\_Nanopowder\_-\_8410DL. 1 (2016).
12. Aquino, P., Osorio, A. M., Ninán, E. & Torres, F. Characterization of ZnO nanoparticles synthesized by precipitation method and its evaluation in the incorporation in enamel paints. *Rev Soc Quím Perú* vol. 84 (2018).
13. World Nuclear Association. Heat values of various fuels - World Nuclear Association. <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx> (2016).
14. Salas, G., Rosas, N., Galeas, S., Guerrero, V. & Debut, A. Síntesis de Nanopartículas de ZnO por el Método de Pechini ZnO Nanoparticles Synthesis by Pechini Method. *Rev. Politécnica* 38, 43–47 (2016).
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Nte Inen 1489:2016. Productos Derivados De Petróleo. Diésel. Requisitos. 7 (2016).
16. Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products and Liquid Fuels at Atmospheric Pressure. <https://www.astm.org/d0086-20b.html>.
17. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Productos De Petróleo. Determinación Del Índice De Cetano Calculado. Inen First Edit, 1–7 (2013).
18. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176 : 2013 Primera revisión. Inst. Ecuatoriano Norm. First Edit, 7–12 (2013).
19. Ficha Técnica del Hyundai H100 2.6iD, ensamblado en 2008 | TecnoAutos.com. <https://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-hyundai-h100-2-6id-ensamblado-en-2008/>.
20. Particulate Matter (PM) Pollution | US EPA. <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
21. EUR-Lex - 32007R0715 - EN - EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007R0715>.
22. Cebada, S. Estudio de la actividad de los metales soportados del grupo ib (cu, ag y au) en la oxidación del mp de los motores diésel. *Mundo Nano. Rev. Interdiscip. en Nanociencia y Nanotecnología* 9, 7 (2017).
23. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2202:2013 primera revisión gestión ambiental, aire, vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre primera edición. 1–35 (2013).