

Artículo Científico

**Análisis de los niveles de opacidad en motores diesel con sistemas de inyección mecánica y electrónica (CRDI)**

**Analysis of opacity levels in diesel engines with mechanical and electronic fuel injection (CRDI) systems**

Edison Morales<sup>1</sup> , Paúl Cabrera<sup>2</sup> , Angelo Malquín<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente, emorales@itsoriente.edu.ec

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente, pacabrera@itsoriente.edu.ec

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente, aamalquin@itsoriente.edu.ec

Autor para correspondencia: emorales@itsoriente.edu.ec

**Copyright**

Los originales publicados en las ediciones impresa y electrónica de esta revista son propiedad del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional.



**Citas**

Morales, E., Cabrera, P., & Malquin, A. (2025). Análisis de los niveles de opacidad en motores diesel con sistemas de inyección mecánica y electrónica (CRDI). CONECTIVIDAD, 6(2). <https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i2.271>

**RESUMEN**

La investigación aborda la comparación entre dos motores diesel con diferente sistema de inyección para determinar su impacto ambiental. Se recopiló información de diversas fuentes, incluida la NTE INEN, para evaluar el control de emisiones. Se analizaron las especificaciones técnicas de los motores y se realizaron pruebas de opacidad de gases de escape en un Hino FG y un Mazda BT-50 CRDI, adicional se incorporó otro vehículo marca Chevrolet D-max 3.0, con el fin de tener una amplia discusión en base a que factores puede variar la opacidad, dichos vehículos fabricados después del año 2000, en el que se estableció una normativa que fija el límite máximo de opacidad en 50%.

Los resultados muestran que el vehículo con sistema CRDI emite significativamente menos contaminantes, con una opacidad del 8.4%, en comparación con el otro automotor, que registró una opacidad del 45.3%, y el vehículo adicional con una opacidad del 6.1%. Esto demostró que el sistema CRDI es más amigable con el medio ambiente según la normativa vigente. En conclusión, mediante

la investigación se evidenció la importancia de la tecnología de inyección Diesel en la reducción de emisiones y en la protección del medio ambiente.

**Palabras clave:** Motores Diesel; Sistema de inyección; Impacto medioambiental; Cumplimiento normativo; sistema CRDI; Contaminantes.

**ABSTRACT**

The research compares two Diesel engines with different injection systems to determine their environmental impact. Information was gathered from various sources, including NTE INEN, to assess emission control. The technical specifications of the engines were analyzed, and opacity tests were conducted on a Hino FG and a Mazda BT-50 CRDI. Additionally, a Chevrolet D-max 3.0 vehicle was included to broaden the discussion on factors affecting opacity. These vehicles were manufactured after 2000 when regulations set the maximum opacity limit at 50%.

Results show that the CRDI system vehicle emits significantly fewer pollutants, with an opacity of 8.4%, compared to the other engine, which recorded an opacity of 45.3%, and the additional vehicle with an opacity of 6.1%. This demonstrates that the CRDI system is more environmentally friendly according to current regulations. In conclusion, the research highlights the importance of Diesel injection technology in reducing emissions and protecting the environment.

**Keywords:** Diesel engines; Injection system; Environmental impact; Regulation compliance; CRDI system; Pollutants

## 1. INTRODUCCIÓN

Hasta la presente fecha, se ha evidenciado globalmente una notable transición en lo concerniente a la contaminación ambiental atribuible a las emisiones gaseosas vehiculares. Dichas emisiones, sujetas a un incremento sostenido en virtud de la expansión del parque automotor (PA), ejercen una influencia considerable sobre la salud pública. [1].

La dominancia del PA, alimentado preponderantemente por hidrocarburos y, de manera destacada, por Diesel (D), se erige como una fuente significativa de emisiones contaminantes en la esfera atmosférica. La combustión de D en motores de combustión interna engendra la liberación de compuestos perjudiciales tales como óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), partículas finas, así como gases contribuyentes al efecto invernadero. La emisión de estos contaminantes al medio ambiente afecta de manera adversa la calidad del aire y constituye un factor contribuyente al fenómeno de calentamiento global. [2]

En Europa, desde 1993, la implementación de las “Normas euro” ha constituido un marco regulador fundamental para las emisiones vehiculares. La “Euro 6”, instaurada como la última iteración de estas normativas, establece límites más estrictos para los contaminantes atmosféricos liberados por vehículos, priorizando la reducción de ( $\text{NO}_x$ ) y partículas en suspensión [3].

En conformidad con las directrices ambientales, la mayoría de naciones ha implementado normativas específicas para el control de emisiones contaminantes, focalizándose particularmente en la opacidad (O) en vehículos de ciclo D. Estas normas establecen rigurosos límites y parámetros para monitorear y mitigar la O , un indicador crítico de la calidad del combustible y la eficiencia de la combustión.[4].

La adopción de estos estándares refleja la preocupación global por reducir la huella ambiental de los motores D, subrayando la necesidad de sistemas de inyección de combustible más eficientes y tecnologías avanzadas que contribuyan con la preservación del medio ambiente [5].

A nivel global, el diésel se mantiene como el agente energético predominante en la propulsión de vehículos de carga pesada, si bien en determinadas geografías se investigan y desarrollan métodos alternativos, incluyendo la ingeniería avanzada de las características fisicoquímicas del biodiésel. Esta aproximación tiene el propósito de atenuar las emisiones de partículas nocivas y gases efecto invernadero [6].

La estrategia en cuestión persigue no solamente la diversificación de los vectores energéticos disponibles para el sector transporte, sino también la mejora integral de la eficiencia y la sostenibilidad operativa de dichos sistemas. Esto se logra mediante la implementación de biocombustibles cuyas propiedades han sido específicamente optimizadas para reducir significativamente la huella de carbono y otros impactos negativos asociados al entorno [7].

En la gestión medioambiental, las autoridades nacionales desempeñan un papel crucial al establecer normativas que salvaguardan la integridad ambiental y la salud humana. En Ecuador, se aplica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2207:2002, la cual regula los niveles

aceptables de opacidad para los vehículos categoría D (8). Este marco normativo se orienta hacia la mitigación de emisiones de partículas en suspensión, con el objetivo fundamental de garantizar la conformidad con rigurosos estándares ambientales. Su finalidad principal radica en salvaguardar la salud pública, alineándose con criterios técnicos específicos. Este enfoque técnico busca la implementación de medidas que contribuyan de manera efectiva a la reducción de partículas en el ambiente, asegurando así un entorno más saludable y sostenible [9].

El presente estudio se enfoca en la realización de un análisis comparativo meticuloso entre dos sistemas de inyección avanzados utilizados en motores diésel, con el propósito de investigar las divergencias en los niveles de opacidad de los gases de escape generados por cada uno. La principal aspiración de esta investigación es determinar la eficiencia ambiental inherente a estos sistemas mediante la cuantificación y evaluación de las emisiones de partículas de hollín. Mediante un enfoque analítico riguroso, se pretende discernir cuál de los dos sistemas de inyección demuestra una mayor capacidad para mitigar la liberación de contaminantes atmosféricos, aportando así evidencia crítica que sustente la formulación de estrategias de intervención destinadas a la conservación ambiental. Este análisis se fundamenta en la aplicación de metodologías de medición estandarizadas y el empleo de tecnologías de diagnóstico avanzadas, buscando contribuir significativamente al corpus de conocimiento existente en torno a la optimización del desempeño ambiental de los motores diésel [10].

La precisión en la medición de la opacidad en ambos vehículos es crucial para obtener resultados fidedignos. Utilizar equipos apropiados y técnicas adecuadas es esencial para garantizar la exactitud de los valores registrados, asegurando así la validez de los datos obtenidos en la comparación de opacidades [11]. En Ecuador el Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la norma técnica NTE INEN 2 202:2.000, manifiesta que el límite máximo de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel en función de su año de fabricación es, a partir del año 2000 en adelante, del 50 % de opacidad, y los modelos anteriores al 2000 del 60 % de opacidad [12].

La evaluación de las emisiones de humo en motores diésel implica la aplicación del método de medición conocido como opacidad, un enfoque cuantitativo ampliamente reconocido en la industria. Este procedimiento permite la determinación precisa de la densidad y opacidad del humo emitido durante el proceso de combustión. A través de la meticulosa recopilación y análisis de estos datos, se pueden establecer criterios específicos basados en los porcentajes de opacidad, lo que facilita una comparativa rigurosa entre los distintos sistemas de inyección de combustible [13].

La eficacia de cada sistema se evaluará en función de su capacidad para mantener bajos los niveles de opacidad, lo que no solo indica un rendimiento óptimo del motor, sino también un menor impacto ambiental. Este enfoque técnico proporciona una base objetiva y fundamentada para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad y la reducción de emisiones contaminantes [14].

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Método

En el presente documento se describe una comparación de los sistemas de inyección diesel, donde el estudio se basa en una investigación explicativa a partir de la aplicación del método experimental. Se toman dos vehículos Diesel: uno de ellos es el Mazda BT-50 2.5 CRDI y el otro es el vehículo Hino FG J08. En ambos automotores se determinan los niveles de opacidad mediante las pruebas realizadas. Estas pruebas se llevan a cabo con el Opacímetro correspondiente a la marca Bosh, modelo BEA-070.

El propósito de esta comparación es determinar cuál de los dos sistemas de inyección es más amigable con el medio ambiente, menos contaminante, y si hay variaciones en función del porcentaje de opacidad, así como identificar los factores que influyen en estas variaciones.

### 2.2 Materiales

#### 2.2.1 Vehículo de prueba 1

En la tabla 1 se detallan algunas características del primer vehículo destinado a la prueba de opacidad. Este vehículo posee un sistema de inyección directa CRDI. Previo a la realización de la prueba, el automóvil ha sido sometido a su respectivo mantenimiento, que incluye el cambio de aceite y filtros de combustible. Además, se aseguró suministrar la misma cantidad y calidad de combustible, en este caso, Diesel Premium.

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas de un motor diesel con inyección CRDI.

Especificaciones técnicas Mazda BT-50 2.5 CRDI	
Tipo	4 ciclos, vertical, 4 cilindros, DOCH, inyección directa
Aspiración	Turboalimentado con intercooler
Cilindrada	2.499 litros
Año	2013
Relación de compresión	18:1
Orden de encendido	1-3-4-2

Rpm máx. con carga total	2900 rpm
Rpm de ralentí	700 – 750 rpm
Combustible	Diesel
Tipo de inyección	Common Rail (CRDI)
Normativa	Euro 4

### Vehículo de prueba 2

En la tabla 2 se detallaran algunas características del segundo vehículo a realizar la prueba de opacidad, el mismo que posee un sistema de inyección mecánica con bomba de inyección lineal, así mismo como factor principal antes de realizar dicha prueba el automotor fue sometido a su respectivo mantenimiento tales como cambio de aceite y filtros de combustible , así mismo como suministrar la misma cantidad y calidad de combustible en este caso el diesel premium.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de vehículo Hino FG inyección mecánica.



Especificaciones técnicas vehículo Hino FG	
Modelo	J08C
Tipo	4 ciclos, vertical, 6 cilindros, OHC.
Aspiración	Turboalimentado con intercooler
Cilindrada	7.961 litros
Año	2008
Relación de compresión	18:1
Orden de encendido	1-4-2-6-3-5
Rpm máx. con carga total	2900 rpm
Rpm de ralentí	650 – 750 rpm
Combustible	Diesel
Tipo de inyección	Mecánica Bomba Lineal
Normativa	Euro 3

### 2.2.2 Equipos de apoyo para la medición

Uno de los equipos que se consideraron en el estudio son los referentes a la comprobación y medición de gases contaminantes como el opacímetro, este equipo facilita conocer la opacidad en porcentaje (%) así como proveer los parámetros que permiten determinar el coeficiente de absorción luminosa en los gases que emiten los vehículos diesel. Este da información en torno

a la proporción de combustible que no es quemado. Es de destacar que, la opacidad es una propiedad óptica, de tal manera que este equipo está dotado de una fuente de emisión de luz y un detector, el cual se encarga de realizar el registro de la radiación que pasa a través de la columna de humo, dando de este modo una respuesta espectral que se transforma en una lectura de opacidad.

**Figura. 1.** Opacímetro Bosch.



El opacímetro móvil es utilizado para realizar las pruebas de humo a los automotores diesel diseñada para obtener las medidas de opacidad en vehículos a gasóleo de manera eficiente, comúnmente se los puede encontrar en talleres de inspección técnica de vehículos. Su funcionamiento es mediante un software instalado en una portátil. La transferencia de datos lo hace por conexión bluetooth.

**Tabla 3.** Especificaciones del opacímetro.

Especificaciones del opacímetro	
<b>Modelo</b>	Bosch BEA-070
<b>Dimensiones</b>	414 x 330 x 280 mm
<b>Alimentación eléctrica</b>	100-240V, 50-60 Hz
<b>Peso</b>	10 kg
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	5°C a 45°C
<b>Temperatura máxima sonda de gases</b>	250°C
<b>Temperatura máxima punto de medición</b>	200°C

Las pruebas que se están llevando a cabo son estáticas para ambos vehículos. Al emplear el opacímetro, se permite la toma de lecturas de los porcentajes de opacidad en base a diferentes revoluciones y tiempos de aceleración. Esto se hace para verificar si existe alguna variación en esos parámetros. Todo este proceso tiene como objetivo principal lograr una comparación exhaustiva y detallada entre los dos sistemas de inyección.

La normativa INEN 2 204 es la que rige el nivel de opacidad en los vehículos con motor Diesel. Según esta normativa, ningún vehículo con motor diesel, en condiciones de prueba estática, puede tener una opacidad superior a la que se muestra en la tabla 4. Además, en vehículos que cuenten con dos salidas de escape, se debe realizar la prueba en cada una de ellas y se tomará el valor máximo de opacidad como referencia.

**Tabla 4.** Límites de opacidad máximos permitidos.

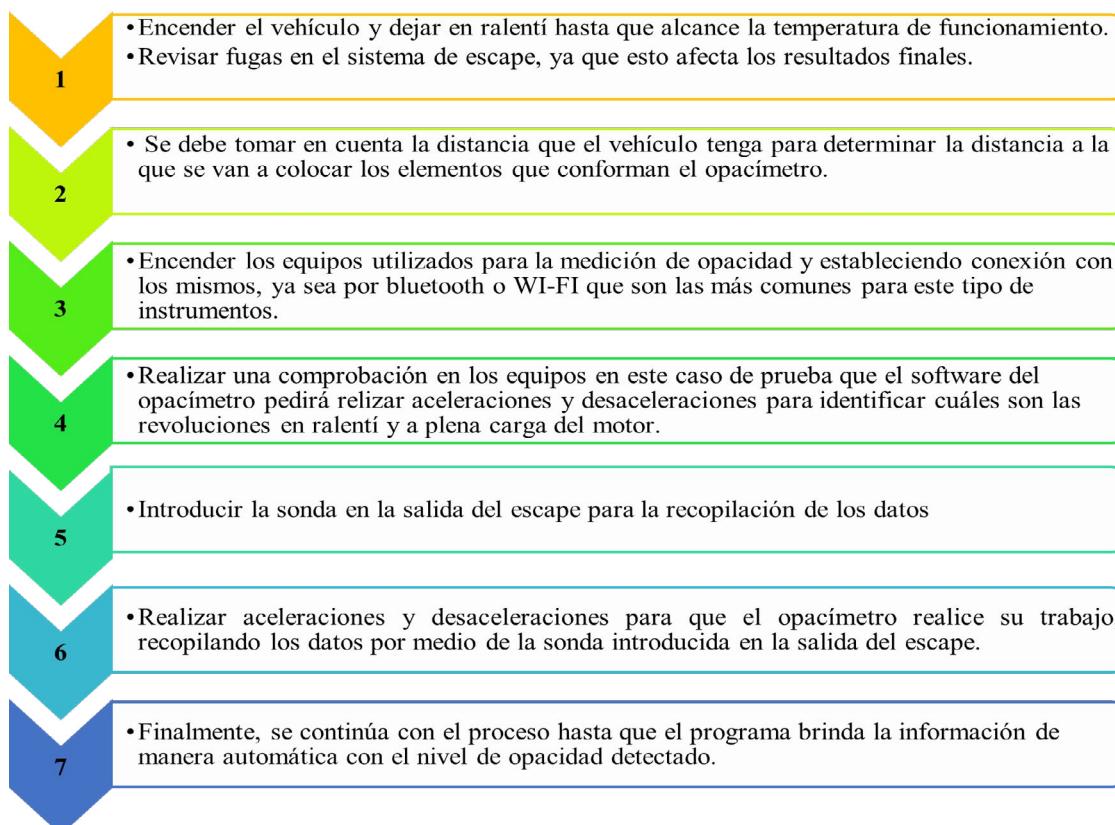
Año modelo	% Opacidad
2001 y posteriores	50
2000 anteriores	60

## 2. RESULTADOS

Con el propósito de establecer los factores que determinan los niveles de opacidad de los motores MEC, se llevan a cabo mediciones de opacidad en dos motores distintos. Uno de ellos está equipado con un sistema de inyección mecánica, mientras que el otro cuenta con inyección directa controlada electrónicamente, conocido como CRDI.

A continuación, se detalla el procedimiento que se sigue para realizar las medidas de opacidad:

### 3.1 Procedimiento para la medición de opacidad

- 
- 1 • Encender el vehículo y dejar en ralentí hasta que alcance la temperatura de funcionamiento.  
• Revisar fugas en el sistema de escape, ya que esto afecta los resultados finales.
  - 2 • Se debe tomar en cuenta la distancia que el vehículo tenga para determinar la distancia a la que se van a colocar los elementos que conforman el opacímetro.
  - 3 • Encender los equipos utilizados para la medición de opacidad y estableciendo conexión con los mismos, ya sea por bluetooth o WI-FI que son las más comunes para este tipo de instrumentos.
  - 4 • Realizar una comprobación en los equipos en este caso de prueba que el software del opacímetro pedirá realizar aceleraciones y desaceleraciones para identificar cuáles son las revoluciones en ralentí y a plena carga del motor.
  - 5 • Introducir la sonda en la salida del escape para la recopilación de los datos
  - 6 • Realizar aceleraciones y desaceleraciones para que el opacímetro realice su trabajo, recopilando los datos por medio de la sonda introducida en la salida del escape.
  - 7 • Finalmente, se continúa con el proceso hasta que el programa brinda la información de manera automática con el nivel de opacidad detectado.

En la tabla 8 se pueden apreciar los valores del nivel de opacidad obtenido al realizar las pruebas de opacidad de un motor Hino FG con un sistema de inyección mecánica, en el que se obtiene una opacidad máxima de 45.3%.

Posteriormente, en la tabla 6 se observa el nivel de opacidad obtenido de un motor de Mazda BT-50 con un sistema de inyección controlado electrónicamente, también conocido como CRDI, en el que se alcanza un nivel máximo de opacidad de 8.4%.

### 3.2. Pruebas

Inicialmente, se llevaron a cabo pruebas de opacidad en el motor Common Rail de una Mazda BT-50 2.5 L Turbo, siguiendo rigurosamente el procedimiento estipulado para la medición de opacidad, tal como se detalló previamente.

A continuación, se detallará en una tabla los niveles de opacidad que se obtuvieron al realizar pruebas, cumpliendo con requerimientos que debe cumplir el vehículo antes de realizar la respectiva medición como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Rangos mínimos y máximos del motor.

Acondicionamiento	Unidad	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	80	95
Nº rev. ralentí	1/min	500	1000
Nº rev. limit.	1/min	2000	3000

**Tabla 6.** Niveles de opacidad.

Sonda	1(diámetro 10mm, escape <= 70mm)			
Nº golpes acel.	Opacidad	Nº rev. ralentí	Nºrev. Limit.	Tiempo acel.
	%	1/min	1/min	s
K1	7.8	726	2269	0.29
K2	8.4	725	2257	0.26
K3	7.0	724	2223	0.42
K4	6.6	725	2205	0.42

En la interpretación de los datos presentados en la tabla 6, se observa el recuento de pulsaciones del acelerador, el cual corresponde al número de ensayos llevados a cabo, totalizando cuatro en este contexto. Asimismo, se destaca la medida de opacidad expresada en porcentaje, la cual fluctúa según el régimen de funcionamiento del motor, detallado en la tabla con respecto a los niveles de revoluciones tanto en ralentí como a plena carga. Todo este análisis se lleva a cabo dentro de un lapso definido de aceleración, medido en segundos.

Posteriormente se llevó a cabo la evaluación de un motor Diesel equipado con un sistema de inyección mecánica. En la tabla subsiguiente se destacan los criterios mínimos que el vehículo debe satisfacer antes de proceder con la realización de la medición.

**Tabla 7.** Rangos mínimos y máximos del motor.

Acondicionamiento	Unidad	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	80	95
Nº rev. ralentí	1/min	500	1000
Nº rev. limit.	1/min	2000	2900

**Tabla 8.** Niveles de opacidad.

Sonda	1(diámetro 10mm, escape <= 70mm)			
Nº golpes acel.	Opacidad	Nº rev. ralentí	Nºrev. Limit.	Tiempo acel.
	%	1/min	1/min	s
K1	45.3	654	2603	0.41
K2	45.3	654	2711	0.49
K3	45.0	651	2721	3.04
K4	40.7	651	2682	0.59

En la demostración anterior, se observa detalladamente el número de pruebas realizadas, representadas por la variable “K” en la tabla adjunta. En la columna siguiente, se presenta el nivel de opacidad en porcentaje, notablemente mayor debido a la naturaleza del motor con inyección mecánica. Este porcentaje de opacidad es relativo al régimen en el que se encuentre el motor, tal como se indica en la tabla con los valores de revoluciones en ralentí y en carga plena, junto con el tiempo de golpes de aceleración medido en segundos.

A partir de los datos recopilados, es factible determinar si los motores en cuestión satisfacen los estándares máximos de opacidad estipulados por la normativa ecuatoriana INEN. Dichos estándares se encuentran detallados en la Tabla 4, clasificados según el año modelo del vehículo.

En la siguiente tabla se muestran los niveles de opacidad obtenidos por los dos motores en comparación con el límite permitido. En este caso debido a que el año modelo de los motores es superior al año 2001, deben cumplir con el nivel máximo de opacidad en porcentaje que es 50.

**Tabla 9.** Comparación de opacidad.

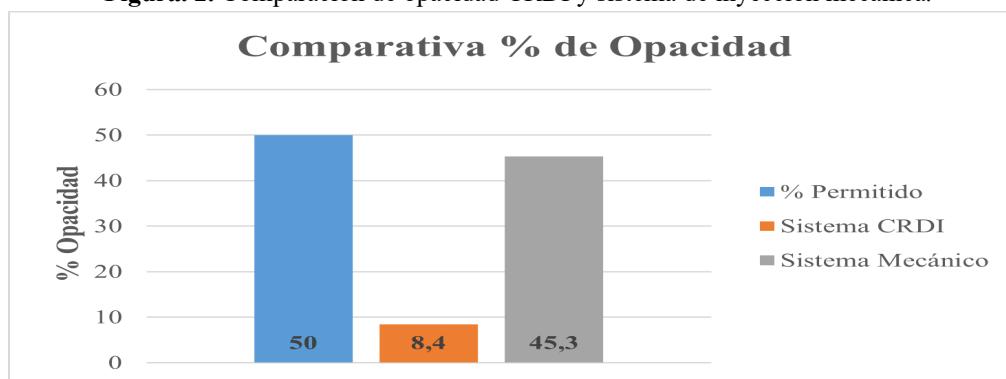
Inyección de combustible	Año modelo	% opacidad máx. permitida	% opacidad obtenida	Resultado
CRDI	2013	50	8.4	OK
Inyección mecánica	2012	50	45.3	OK

Como se puede estimar los valores obtenidos en las pruebas están por debajo del nivel máximo permitido por la normativa ecuatoriana INEN, significa que los motores están en excelentes

condiciones de trabajo, estimando que un motor con inyección mecánica va a ser más contaminante que un motor con inyección directa controlada electrónicamente.

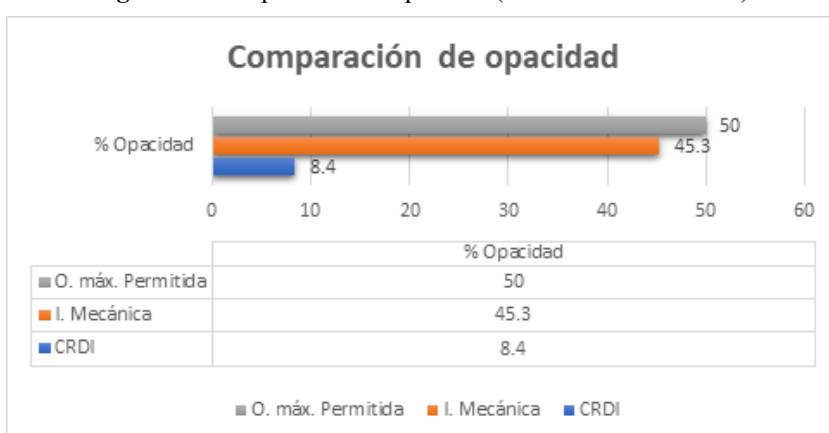
En el gráfico 1 se muestra el porcentaje de opacidad que un motor con inyección directa common rail genera, efectuamos la comparativa con el nivel de opacidad máximo permitido que rige la NTE (normativa técnica ecuatoriana) INEN. Además, se muestra la comparativa entre el porcentaje de opacidad de un motor operando bajo un sistema de inyección mecánica y el porcentaje de opacidad permitido según las regulaciones establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN. La representación gráfica permite apreciar que el nivel de opacidad registrado durante las pruebas realizadas en este motor es considerablemente elevado, aproximándose al límite del porcentaje autorizado por la normativa vigente.

**Figura. 2.** Comparación de opacidad CRDI y sistema de inyección mecánica.



En el análisis comparativo subsiguiente se examinarán con mayor profundidad los índices de opacidad emitidos por el conducto de escape de cada motor, contrastándolos con el umbral de porcentaje permitido según las especificaciones técnicas establecidas por la normativa ecuatoriana INEN.

**Figura. 3.** Comparación de opacidad (CRDI-I. MECANICA).



Las pruebas de rendimiento de los motores se llevaron a cabo en la ciudad de San Miguel de Ibarra, ubicada a una altitud de 2225 metros sobre el nivel del mar. Esta altitud significativa ejerce una influencia considerable en el comportamiento de los motores, afectando tanto su rendimiento como su consumo de combustible. Se observa un incremento significativo en los niveles de opacidad de las emisiones, en comparación con las pruebas realizadas a nivel del

mar. Esto se debe a la reducción de la densidad del aire a altitudes elevadas, lo que provoca una menor cantidad de oxígeno disponible para la combustión en la cámara del motor.

Los datos del gráfico 3 muestran una comparativa realizada por dos motores Diesel, uno con inyección mecánica y otro con inyección directa common rail. Estos datos están establecidos en porcentaje que muestra la cantidad de opacidad permitida por la NTE INEN y la opacidad adquirida en la medición de estos motores que llevan distinta inyección de combustible.

Se ha logrado determinar cuál de los motores de combustión interna Diesel es más favorable para el medio ambiente. Tras realizar pruebas y comparaciones, se ha confirmado que el motor con inyección directa Common Rail Diesel Inyección (CRDI) es el menos contaminante. Esto se debe a que su sistema de inyección se divide en tres etapas: preinyección, inyección principal y postinyección, lo que favorece una combustión más eficiente. Esta eficiencia resulta en una reducción del consumo de combustible y, por ende, en una considerable disminución de la emisión de gases contaminantes.

### 3. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los altos niveles de opacidad generados por los motores diésel, se encuentran en el deber de dar a conocer a continuación valores de opacidad obtenidos de distintos motores diésel, además de la comparativa realizada. El propósito es demostrar el tipo de inyección de combustible que produce menos emisiones contaminantes.

**Tabla 10.** Comparativa de niveles de opacidad de distintos motores diesel.

	Inyección de combustible	Metros sobre el nivel del mar	Año modelo	% opacidad máx. permitida	% opacidad obtenida	Resultado
Caso 1	Inyección mecánica	2225	2010	50	30.9	OK
Caso 2	Inyección mecánica	2225	2015	50	17.7	OK
Caso 3	CRDI	Nivel del mar	2019	50	6.1	OK

A continuación, se presentan las tablas que muestran los niveles de opacidad obtenidos de cada motor, los cuales están equipados con sistemas de inyección diferentes y pertenecen a distintos años modelo. Además, se proporciona información sobre la altitud sobre el nivel del mar donde se llevó a cabo la prueba de opacidad, como se detalla en la tabla 10.

En la tabla 11 se presentan los niveles de opacidad del caso 1 obtenidos durante las pruebas con el opacímetro. Se observan los niveles registrados en los cuatro golpes de aceleración realizados para la comprobación. El promedio de opacidad es de 28.27%, valor que se encuentra por debajo del límite permitido por la NTE INEN, lo que indica que el motor cumple con las regulaciones máximas permitidas.

**Tabla 11.** Niveles de opacidad obtenidos en el caso 1.

Caso 1		Inyección mecánica		
Nº golpes acel.	Opacidad	Nº rev. ralentí	Nº rev. limit.	Tiempo acel.
	%	1/min	1/min	s
K1	27.5	942	3355	1.35
K2	27.5	928	3320	1.26
K3	30.9	925	3368	1.37
K4	27.2	921	3312	1.38

En el segundo caso, se observan los niveles de opacidad expresados en porcentaje, derivados de un motor que continúa utilizando un sistema de inyección mecánica, con la distinción de que su año de fabricación es posterior al del caso anterior. Es evidente que este escenario presenta una mayor eco compatibilidad, dado que exhibe un promedio de opacidad significativamente menor, establecido en un 19.17%.

**Tabla 12.** Niveles de opacidad obtenidos en el caso 2.

Caso 2		Inyección mecánica		
Nº golpes acel.	Opacidad	Nº rev. ralentí	Nº rev. limit.	Tiempo acel.
	%	1/min	1/min	s
K1	13.3	842	2504	0.19
K2	31.1	842	2376	0.22
K3	14.6	842	2218	1.52
K4	17.7	842	2126	1.04

La Tabla 13 presenta los resultados correspondientes al Caso 3. En este contexto, las pruebas de opacidad se llevaron a cabo a nivel del mar, como se ha mencionado previamente. Este enfoque se adoptó con el propósito de garantizar la obtención de datos precisos y así evaluar de manera efectiva las disparidades que puedan surgir al realizar pruebas a altitudes más elevadas, como los 2225 metros sobre el nivel del mar, característicos de la localidad de Ibarra, donde se efectuó la evaluación del rendimiento del motor Mazda BT-50 CRDI. Cabe destacar que el motor en cuestión está equipado con un sistema de inyección CRDI y presenta un año modelo superior al utilizado como punto de comparación en el estudio.

**Tabla 13.** Niveles de opacidad obtenidos en el caso 3.

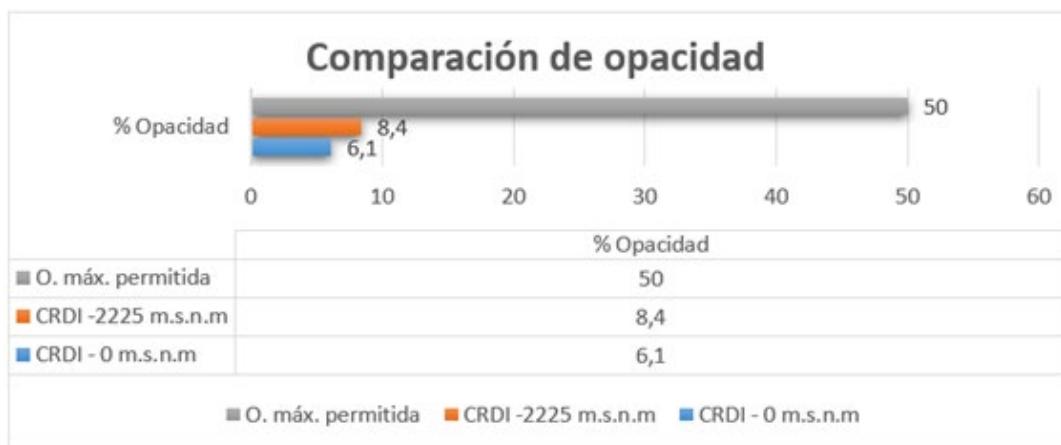
Caso 3		Inyección mecánica		
Nº golpes acel.	Opacidad	Nº rev. ralentí	Nº rev. limit.	Tiempo acel.
	%	1/min	1/min	s
K1	6.0	710	2750	0.31
K2	5.1	710	2520	0.25
K3	5.8	720	2590	0.27
K4	6.1	710	2719	0.35

Tras llevar a cabo un análisis comparativo, se ha determinado que un sistema de inyección controlada electrónicamente, comúnmente referido como CRDI, exhibe el menor índice de opacidad, lo que lo posiciona como la alternativa más eco amigable entre los sistemas evaluados.

A continuación, se presenta un gráfico comparativo que analiza las pruebas de opacidad realizadas en dos sistemas de inyección CRDI, destacando la disparidad en la altitud a la que se llevaron a cabo dichas pruebas. Principio del formulario

El Gráfico 3 revela el límite máximo de opacidad permitido por la normativa técnica ecuatoriana INEN, establecido en un 50%. Posteriormente, ilustra el nivel de opacidad de un motor con inyección CRDI operando a una altitud de 2225 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), registrando un índice de opacidad del 8.4%. Finalmente, se presenta un sistema CRDI operando a nivel del mar, evidenciando una producción de opacidad del 6.1%.

Figura. 4. Comparación de opacidad de sistemas CRDI con diferente altura (m.s.n.m).



En el presente estudio comparativo de dos sistemas de inyección idénticos, se han llevado a cabo pruebas a diferentes altitudes sobre el nivel del mar. Se ha determinado que un motor equipado con dicho sistema exhibirá una mayor eficiencia y una reducción en la emisión de gases contaminantes cuando opera a altitudes inferiores o a menor elevación sobre el nivel del mar.

Se observa una diferencia de opacidad del 2.3%, lo cual representa una magnitud significativa en el contexto del control de emisiones vehiculares a través del escape.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis de los datos obtenidos revela una diferencia notable en el nivel de emisiones entre los diferentes tipos de motores estudiados, lo que sugiere que el sistema de inyección CRDI contribuye de manera efectiva a la disminución de la contaminación atmosférica.

Los resultados obtenidos reflejan el cumplimiento de la normativa establecida después del año 2000, que fija un límite máximo de opacidad en 50%, demostrando que los vehículos equipados con sistema CRDI están alineados con los estándares medioambientales vigentes.

A través de la ejecución de pruebas con una variedad de vehículos, se ha podido determinar que múltiples factores inciden en la variabilidad de la opacidad de emisiones. Entre estos factores destacan la modalidad de inyección de combustible empleada, el año de fabricación del vehículo y la altitud a la que éste se encuentre operando dando como resultado para el sistema de inyección mecánica un 45.3 % de opacidad y al vehículo equipado con inyección electrónica

un 8.4 % así mismo como al realizar las pruebas con un vehículo ubicado a una altitud baja dando un 6.1 % de opacidad dando veracidad a que influye la variedad de opacidad debido a dichos factores.

## REFERENCIAS

- Agudelo, John R and Bedoya, Iván D. Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma. 2005.
- Bautista, Jesica, Sierra, Yineth and Bermeo, Juan Felipe. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en las Instituciones de Educación Superior. *Producción + Limpia*. 28 June 2022. Vol. 17, no. 1, p. 169–186. DOI 10.22507/pml.v17n1a10.
- Carvajal Chávez, Ghem, Medina Romo, Sergio, Viteri Moya, Jorge and Salazar Reyes, Ricardo. Composición elemental de mezclas biodiésel-diésel y análisis de sus emisiones de combustión. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*. 7 December 2017. Vol. 1, no. 2, p. 21–28. DOI 10.29166/revfig. v1i2.66.
- Imbaquingo Navarrete, Rommel Paúl, Cevallos González, Andrés Felipe and Mafla Yépez, Carlos Nolasco. Reduction of opacity in pollutant gas emissions in compression ignition engines by using biodiesel B5 and B10 based on algae. *Ingeniería y Desarrollo*. 21 January 2021. Vol. 38, no. 1, p. 212–223. DOI 10.14482/inde.38.1.621.4.
- Lozano Hernández, Cristian Javier, Daza Guerra, Oscar Rene, Clavijo Cevallos, Manuel Patricio and Mantilla Parra, Carlos. Determinación de los contaminantes mediante la opacidad, producto de la combustión por fuentes móviles a diésel en el cantón La Mana, Provincia de Cotopaxi. *Ciencia Digital*. 15 November 2018. Vol. 2, no. 4.2., p. 29–50. DOI 10.33262/cienciadigital.v2i4.2..200.
- Llanes Cedeño, Edilberto Antonio, Leguísamo Milla, Julio César, Artieda Cadena, Andrés Fernando and Ortega Carrillo, Wilson Alexander. Reducción del consumo del combustible de un motor a diésel aplicando ECODRIVING en Quito-Ecuador. *ISSN*. Vol. 4.
- Miranda Mejía, José Remberto, Martínez Gómez, Samuel, Hernández Miranda, John Figerald Kenedy, Figueroa, René Leonel and Aguirre, Noé. Diagnóstico de contaminación atmosférica por emisiones diésel en la zona metropolitana de San Salvador y Santa Tecla. *Entorno*. 30 May 2016. No. 61, p. 7–16. DOI 10.5377/entorno.v0i61.6125.
- Muñoz Pérez, Sócrates, Salcedo Reátegui, José and Sotomayor Mendoza, Arturo. Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *INVENTUM*. 26 April 2021. Vol. 16, no. 30, p. 20–30. DOI 10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.20-30.
- Muñoz Pérez, Sócrates, Salcedo Reátegui, José and Sotomayor Mendoza, Arturo. Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *INVENTUM*. 26 April 2021. Vol. 16, no. 30, p. 20–30. DOI 10.26620/uniminuto.inventum.

Riojas González, Héctor-Hugo, Bortoni Anzures, Liborio-Jesús, Martínez Torres, Juan-Julian and Ruiz, Héctor A. Avances y estrategias para mejorar el desempeño del biodiésel en motor diésel. *Ingenius*. 1 July 2023. No. 30, p. 90–105. DOI 10.17163/ings.n30.2023.08.

Rocha Hoyos, Juan C., Llanes Cedeño, Edilberto A., Celi Ortega, Santiago F. and Peralta Zurita, Diana C. Efecto de la Adición de Bodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. *Información tecnológica*. June 2019. Vol. 30, no. 3, p. 137–146. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

Varas Ponce, Lupo Leonidas, Baltodano Nontol, Luz Alicia and Gálvez Carrillo, Rosa. Emisión de gases vehiculares y su impacto en la calidad de aire. *Advances in Science and Innovation*. 6 December 2022. Vol. 1, no. 1, p. 119–132. DOI 10.61210/así. v1i1.11.

Vega, Dayana, Ocaña, Lorena and Parra Narváez, René. Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. Online. 30 December 2015. Vol. 7, no. 2. [Accessed 25 March 2024]. DOI 10.18272/aci.v7i2.270.