



**ING. AUTOMOTRIZ**

**Trabajo integración Curricular previa a la  
obtención del título de Ingeniero en Automotriz.**

**AUTORES:**

Bryan Andrés Gómez Toapanta  
Bryan Stalin Romero Madril

**TUTOR:**

Ing. Denny Guanuche MSc

Estudio de emisiones contaminantes en un motor  
diésel posterior a la implementación de un sistema  
de hidrógeno ofertado en Ecuador



## CERTIFICACIÓN

Nosotros, BRYAN ANDRÉS GÓMEZ TOAPANTA y BRYAN STALIN ROMERO MADRIL declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



---

BRYAN ANDRÉS GÓMEZ TOAPANTA  
CI. 1754547881



---

BRYAN STALIN ROMERO MADRIL  
CI.

Yo, Ing. Denny Guanuche, certifico que conozco a los señores , BRYAN ANDRÉS GÓMEZ TOAPANTA y BRYAN STALIN ROMERO MADRIL, autores exclusivos de la presente investigación, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



---

CI. 1715882450

## **Dedicatoria**

Este proyecto al igual que toda mi carrera universitaria y profesional se las dedico a mis padres quienes han sido los verdaderos protagonistas de este logro, sin ellos nada de esto sería posible, admiro su fortaleza y persistencia la cual reflejo en la consecución de este título. Dedico también a mi familia y amigos quien a lo largo de mi carrera estuvieron siempre al pendiente y me apoyaban con una palabra o consejo y a veces mucho más. Dedico este título a mi hermana menor quien con su inocencia hace de nuestras vidas plena felicidad, y quiero poder estar algún día en la dedicatoria de su proyecto de titulación, sé que así será. Dedico este triunfo a mi hermana mayor quien ha sido un vivo ejemplo de lucha, constancia y superación en todo aspecto de la vida, todo este momento tan anhelado es merecido dedicar a todas las personas con las que crecí y me vieron crecer personal, intelectual y profesionalmente, y por ultimo quiero hacer una dedicatoria especial para mi tío William a quien llamo tío por descendencia pero lo considero un hermano, quien ha estado en momentos precisos de mi vida, buenos y malos, es el aliado que todo ser humano necesita.

Bryan Andrés Gómez Toapanta

## **Dedicatoria**

Es para mí una gran satisfacción poder dedicar un logro muy importante a las dos personas más importantes de mi vida, mi madre y mi padre, que siempre me brindaron su apoyo en el campo de lo ético, moral y económico. Ellos, que depositaron su confianza en mí para alcanzar mis una de mis metas más trascendentales y convertirme en un profesional, y claro, con valores que me convertirán en una persona recta, con objetivos claros y que se mantenga en el camino correcto.

Bryan Stalin Romero Madril

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer y homenajear a mis padres por la valentía de seguir adelante y apoyarme a salir victorioso de este largo caminar, a convertirme en un profesional y personal de excelencia, esta victoria es mas de ellos que mía ya que su batalla fue ardua y constante a través de los años, y no podía permitirme fallar, es por eso que todo mi agradecimiento es hacia ellos. Para mi señor padre Carlos Antonio Gómez Arévalo y mi señora madre Sandra Patricia Toapanta Pacheco, los verdaderos héroes de esta historia que termina hoy.

Bryan Andrés Gómez Toapanta

## **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por permitirme disfrutar y tener a mi familia durante el trayecto de mi vida universitaria, por apoyarme en cada decisión y proyecto de vida. A mis amados padres que me confirieron el ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por ser la principal fuerza impulsadora de mis sueños, metas y proyectos, por confiar en mí cada día y creer en mis expectativas, claramente no ha sido un camino fácil hasta ahora, pero gracias a su dedicación, confianza y amor, alcanzar esta meta fue menos complicado. También le agradezco a mi tutor por la dedicación y paciencia que me ha brindado, ya que, sin sus palabras, conocimiento y correcciones, no hubiese podido llegar a ser lo que soy ahora. Gracias por su sabiduría y consejos, los cuales siempre recordaré en mi futuro como profesional. A mi hermano quien me apoyó y creyó en mis capacidades, porque es el mejor y único hermano que me ha dado la vida, mis logros son tuyos también y con gran satisfacción hoy los comparto contigo. A mi novia y amigos por convertirse en una parte importante de mi vida, quienes siempre estuvieron en los momentos más difíciles, me impulsaron a ser una mejor persona y me motivaron para no rendirme y culminar una nueva etapa de mi existencia.

Bryan Stalin Romero Madril

## Índice de Contenido

Índice de Tablas .....	9
Índice de Figuras.....	10
Índice de Anexos.....	11
Resumen.....	12
Introducción .....	14
Objetivos De La Investigación.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Teórico.....	19
Motor Diésel .....	19
Hidrógeno como Combustible .....	19
Ley de Faraday.....	20
Electrolisis.....	20
Producción mediante la electrolisis de Hidrógeno.....	20
Efectos de mejoramiento en Motores de Combustión Interna del hidrógeno.....	21
Materiales y Métodos.....	22
Materiales.....	22
Método deductivo .....	24
Resultados y Discusión.....	26
Resultados .....	26
Discusión.....	27
Conclusiones .....	31
Bibliografía .....	32
Anexos .....	35

## Índice de Tablas

Tabla 1 Ficha Técnica generador de hidrógeno de uso automotriz, Hybrid Car modelo HE7-8000.....	22
Tabla 2 Ficha Técnica Multímetro marca Truper modelo MUT-39.....	23
Tabla 3 Ficha Técnica OPABOX Autopower .....	24
Tabla 4 Resultados de las Mediciones de los niveles de Opacidad .....	26

## Índice de Figuras

Figura 1 Resultados de las Mediciones de los niveles de Opacidad.....	27
Figura 2 Comparación de los niveles de Opacidad con el margen permitido por la Norma INEN 2207.....	29

## Índice de Anexos

Anexo 1. Mediciones Realizadas con el Opacómetro antes de la aplicación del Sistema .....	35
Anexo 2. Mediciones Realizadas con el Opacómetro después de la aplicación del Sistema...	38
Anexo 3. Unidad de transporte urbano de tipo escolar, autobús Yutong ZK6100HB.....	41
Anexo 4. Motor diésel marca Cummins modelo 6BTA .....	43
Anexo 5. Proceso de instalación del sistema de alimentación de hidrógeno.....	44
Anexo 6. Opacómetro modelo OPABOX Autopower de la marca TEXA .....	59
Anexo 7. Ficha técnica de generador de hidrogeno .....	61
Anexo 8. Norma Española UNE-EN 590 .....	62
Anexo 9. Contaminación vehicular.....	63
Anexo 10. Diseño Y Metodología de la Investigación .....	64
Anexo 11. Evaluación del Comportamiento de un Motor Diésel.....	65
Anexo 12. Análisis de un generador de HHO-Revista UIS Ingeniería.....	66
Anexo 13. Análisis del desempeño de la potencia.....	67
Anexo 14. Disminución de la opacidad en las emisiones de gases. ....	68
Anexo 15. Norma Técnica Ecuatoriana-NTE INEN 2 207:2002 .....	69
Anexo 16. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003.....	70
Anexo 17. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202:2013.....	71
Anexo 18. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 14687 .....	72
Anexo 19. Motores Diésel y de gas de alta compresión. ....	73
Anexo 20 Diagnóstico de la combustión en motores Diésel. ....	74
Anexo 21 Revisión del Uso del Hidrógeno. ....	75
Anexo 22 Investigación de la Incidencia. ....	76
Anexo 23 Investigación del Diseño de un Reactor.....	77
Anexo 24 Afecciones respiratoria Científico Médico. ....	78
Anexo 25 Afecciones respiratoria Científico Médico. ....	79
Anexo 26 Adaptación de un generador de Hidrógeno.....	80
Anexo 27 Análisis de estrategias. ....	81
Anexo 28 Multímetro Digital Profesional con RMS. ....	82
Anexo 29 Hydrogen as a Combustion. ....	83
Anexo 30. Normativa ISO .....	84
Anexo 31. Norma International .....	85
Anexo 32. Evidencias Fotográficas .....	86

# ESTUDIO DE EMISIONES CONTAMINANTES EN UN MOTOR DIÉSEL POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HIDRÓGENO OFERTADO EN ECUADOR

*Ing. Denny Javier Guanuche Larco, MSc., deguanuchela@uide.edu.ec*

*Bryan Andrés Gómez Toapanta brgomezto@uide.edu.ec*

*Bryan Stalin Romero Madril brromeroma@uide.edu.ec*

## Resumen

**Introducción:** El objetivo de esta investigación fue analizar el impacto en la reducción de opacidad mediante la implementación de un sistema de alimentación de hidrógeno en el ingreso de aire hacia el motor diésel de una unidad de transporte en la ciudad de Quito durante el primer trimestre de 2023 **Metodología:** Se recopiló información pertinente respecto al proyecto y al kit que se implementó para su función con hidrógeno. Se revisaron los resultados de emisiones contaminantes según las normativas NTE INEN 2202 (2013), NTE INEN 2207 (2002) y NTE INEN 2349 (2003), y la norma ISO 11614 (1999). Se compararon los promedios de las medidas en las pruebas realizadas antes y después de la adaptación del sistema de hidrógeno. Se utilizaron materiales como un kit generador de hidrógeno, un multímetro, un relé, un switch y diversos cables, así como un medidor de opacidad OPABOX Autopower de la marca TEXA. **Resultados:** se determinó una reducción del 7% en los valores promedio de opacidad luego de la implementación del sistema de hidrógeno. **Conclusión:** se comprobó que la implementación del sistema de hidrógeno redujo la opacidad en las emisiones de gases de escape, lo que sugiere que puede ser una estrategia efectiva para reducir la contaminación generada por las unidades de transporte diésel.

**Palabras clave:** Motor Diésel, Sistema de Hidrógeno, Opacidad.

## **Abstract**

**Introduction:** The objective of this research was to analyze the impact on the reduction of opacity through the implementation of a hydrogen fueling system in the air intake to the diesel engine of a transport unit in the city of Quito during the first quarter of 2023 **Methodology:** Relevant information was collected regarding the project and the kit that was implemented for its function with hydrogen. Pollutant emissions results were reviewed according to NTE INEN 2202 (2013), NTE INEN 2207 (2002) and NTE INEN 2349 (2003), and ISO 11614 (1999). The averages of the measurements in the tests performed before and after the adaptation of the hydrogen system were compared. Materials used included a hydrogen generator kit, a multimeter, a relay, a switch and various cables, as well as a TEXA OPABOX Autopower opacity meter. **Results:** A 7% reduction in the average opacity values was determined after the implementation of the hydrogen system. **Conclusion:** It was proved that the implementation of the hydrogen system reduced the opacity in the exhaust gas emissions, which suggests that it can be an effective strategy to reduce the pollution generated by diesel transport units.

**Key words:** Diesel engine, Hydrogen system, Opacity.

## Introducción

En la nación ecuatoriana, el combustible diésel presenta contenidos de azufre que exceden las pautas a nivel regional e internacional, y en algunos casos hasta el límite máximo establecido en la norma técnica INEN 1489, que establece como valor extremo de azufre hasta quinientas (450) partes por millón (ppm), además, dentro de las ciudades del Ecuador, los valores de contenido de azufre son variables, presentándose el caso de la ciudad del Coca donde el contenido de azufre es de más de 5.000 ppm, con un promedio nacional de 104,8 ppm, todo esto desmejora la calidad del aire en el Ecuador de forma exacerbada (Motor Terra, 2020).

Como señala la Agencia UNAL (2020):

Los problemas de calidad del aire son causados principalmente por las emisiones de los vehículos, en especial los de transporte de carga, debido a que un alto porcentaje de estos opera con motores diésel, cuya combustión genera un alto contenido de azufre (p. 1).

En el sector automotriz, la innovación y la tecnología se enfocan en reducir las emisiones contaminantes y disminuir el uso de combustibles fósiles en los vehículos. Por eso, tanto las marcas automotrices como otras empresas relacionadas en la industria han creado diferentes sistemas que trabajan juntos para reducir estos factores. Estos sistemas aseguran su eficacia al reducir la emisión de contaminantes, mejorar la eficiencia energética del motor de combustión interna, además de, aumentar la calidad de vida de los usuarios y el entorno natural.

En el artículo investigativo continuación, se harán los estudios pertinentes relacionados a la adaptación de un sistema de hidrógeno en una unidad de transporte urbano tipo escolar Yutong ZK6100HB con motor diésel marca Cummins modelo 6BTA para posteriormente realizar pruebas estáticas con un opacímetro y analizar los humos de escape.

El objetivo del presente estudio es determinar si es posible la reducción de emisiones contaminantes y del aumento de potencia en un motor diésel luego de adaptar el sistema de hidrógeno, como lo afirman los fabricantes y demostrar si se producen los beneficios indicados, o si simplemente se genera una carga adicional al motor sin conseguir mayor beneficio hacia el consumidor y el medio ambiente.

Este tema se selecciona debido a que, en la actualidad existen diversos sistemas que prometen disminuir consumo y emisiones contaminantes y aumentar el rendimiento del motor, pero varios de ellos no funcionan en su totalidad, al contrario, lo que provocan son pérdidas de potencia en la unidad de propulsión y generan mayor contaminación, lo que coloca en riesgo el medio ambiente al consumidor y también, engañándolo. Este tema es de mucha controversia, y es por esa razón, es que se debe investigar a fondo, con pruebas reales y demostrativas, donde se considera la geografía, características y demás factores que garanticen pruebas lo más apegadas a la realidad de la ciudad del distrito metropolitano de Quito.

Ésta ciudad se encuentra a una altura promedio de 2850 metros sobre el nivel del mar y, es importante recalcar, que este apartado es concluyente al considerar emisiones contaminantes por el decremento de la presión atmosférica, por lo tanto, el motor de

combustión interna compensa dicha pérdida con combustible, al obtenerse un aumento de emisiones que contaminan como: el monóxido y dióxido de carbono, los hidrocarburos no combustionados y los óxidos de nitrógeno, lo que afecta a la salud humana, e implica en un mayor riesgo de enfermedades en el cerebro, en el corazón y en sistema respiratorio, de estas últimas, acuerdo a Montero et al. (2020) existe “una asociación significativa de la contaminación vehicular con la aparición de enfermedades respiratorias y el tiempo de exposición a los contaminantes” (p. 127).

Actualmente, por razones tanto económicas como ambientales, se realizan múltiples acciones para reducir el uso de combustibles fósiles, pero la tarea resulta compleja, tanto por dar con alternativas viables para su reemplazo, como por terminar de desarrollar e implementar las ya encontradas.

Unas de las aplicaciones ya en uso, dentro del ámbito de las tecnologías limpias, es la aplicación de un sistema de hidrógeno a motores de combustión interna, el cual permite reducir la emisión de gases contaminantes producidos por los motores tipo Otto y Diésel, y genera además ahorro del combustible involucrado.

El mismo funciona como un dispositivo que se acopla a un motor convencional, y que inyecta a la mezcla aire combustible, hidrógeno para producir una combustión interna más eficiente. Como señala Ávila & Silva (2022):

El hidrógeno permite que las fluctuaciones en la combustión sean mucho más uniformes gracias a su poder calorífico y mejoran la eficiencia del motor gracias a que permite que la chispa (Si se habla de motores con gasolina o gas) o compresión (Si se habla de motores diésel) sean más efectivas y puedan aprovecharse mucho más los recursos (p. 31).

Por ello la presente investigación tiene como propósito el analizar, a través de pruebas estáticas el aporte en la disminución de niveles de opacidad, mediante la implementación de un sistema de alimentación de hidrógeno, adaptado en el ingreso de aire hacia el motor de combustible diésel de una unidad de transporte en la ciudad de Quito, durante el primer trimestre del año 2023.

Para lograr esto se plantean como objetivos específicos, primero, el recopilar información necesaria y pertinente respecto al proyecto y al kit que se implementará para su función con hidrógeno, segundo, revisar los resultados de emisiones contaminantes según el método de aceleración libre que señala en la normativa NTE INEN 2202 (2013), los niveles de opacidad descritos en la normativa NTE INEN 2207 (2002) que señala los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Diésel, la norma NTE INEN 2349 (2003), que señala los procedimientos a realizar en cualquier revisión técnica vehicular, incluidos el uso de un opacímetro de flujo parcial, todo esto antes y después de la adaptación de un sistema de hidrógeno en el motor diésel 4500 CC, al tomar en cuenta además la norma ISO 11614 (1999) que especifica los requisitos generales y de instalación de equipos para la medición de la opacidad.

Tercero, el determinar mediante comparaciones de los promedios de las medidas en las pruebas realizadas, si el sistema de hidrógeno genera una efectiva disminución de niveles de opacidad aplicado en una ruta inter-parroquial urbana con alto nivel de tráfico vehicular y

contaminación ambiental por parte de vehículos de misma categoría. Además, se plantea como hipótesis que, la implementación de un sistema de hidrógeno en un motor diésel marca Cummins modelo 6BTA de una unidad de transporte urbano de tipo escolar, autobús Yutong ZK6100HB reducirá la opacidad en los gases de escape a valores menores a los medidos antes de la implementación.

## **Fundamento del Problema**

En la actualidad existen diversos sistemas que prometen disminuir consumo y emisiones contaminantes y aumentar el rendimiento del motor, pero varios de ellos no funcionan en su totalidad, más bien lo que provocan son pérdidas de potencia en la unidad de propulsión y generan mayor contaminación, poniendo en riesgo el medio ambiente al consumidor y también engañándolo. Este tema es de mucha controversia y es por esa razón que se debe investigar a fondo con pruebas reales y demostrativas considerando la geografía, características y demás factores que garanticen pruebas lo más apegadas a la realidad de la ciudad del distrito metropolitano de Quito. Ésta ciudad se encuentra a una altura promedio de 2850 metros sobre el nivel del mar y es importante recalcar que, este apartado es determinante al momento de considerar emisiones contaminantes por el decremento de la presión atmosférica, por lo tanto, el motor de combustión interna compensa dicha pérdida con combustible, obteniendo un aumento de emisiones contaminantes como: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos no combustionados y óxidos de nitrógeno, lo que afecta a la salud humana, derivando en un mayor riesgo de enfermedades cerebrales, cardíacas, y enfermedades pulmonares. Ésta última la cual siendo la sexta enfermedad con mayor número de muertes en nuestro País.

La OMS afirma que la mayor parte de muertes se deben a la contaminación atmosférica, relacionadas con enfermedades no transmisibles, dentro de estas se tiene que, el 36% de las muertes son ocasionadas por cáncer de pulmón, el 35% se atribuye a enfermedades pulmonar, el 34% de los accidentes cerebrales y el 27% de afecciones cardíacas se atribuyen a la contaminación atmosférica generada por vehículos impulsados por hidrocarburos fósiles. (Benavides)

## **Objetivos De La Investigación**

### **Objetivo General**

Analizar a través de pruebas estáticas el aporte en la disminución de opacidad mediante la implementación de un sistema de alimentación de hidrogeno adaptado en el ingreso de aire hacia el motor de combustible diésel de una unidad de transporte en la ciudad de Quito durante el primer semestre del año 2022.

### **Objetivos Específicos**

- Recopilar la información necesaria respecto al proyecto y al kit de alimentación de hidrógeno que se implementara en la unidad de transporte.
- Revisar los resultados de opacidad según el método de aceleración libre que señala la normativa NTE INEN 2202 antes y después de la adaptación del sistema de hidrogeno en el motor diésel 4500 cc. de la unidad de transporte.
- Determinar mediante comparaciones de opacidad en las pruebas realizadas si el sistema de hidrogeno genera una disminución de hidrocarburos sin quemar (hollín)

## **Marco Teórico**

### **Motor Diésel**

Es cualquier motor de combustión interna donde el aire se comprime a una temperatura suficientemente alta, para encender el combustible diésel inyectado en el cilindro, donde la combustión y la expansión accionan un pistón. Convierte la energía química almacenada en el combustible en energía mecánica, que puede utilizarse para propulsar camiones de carga, grandes tractores, locomotoras, embarcaciones, ciertos tipos de automóviles condicionados para su uso, al igual que algunos grupos generadores de energía eléctrica (Martín, 2020).

En un motor diésel, el combustible se introduce cuando el pistón se acerca al punto muerto superior de su carrera. El combustible se introduce a alta presión en una cámara de pre combustión o directamente en la cámara de combustión del pistón-cilindro. Con la excepción de los sistemas pequeños de alta velocidad, los motores diésel utilizan la inyección directa. El control preciso de la inyección de combustible es fundamental para el rendimiento de un motor diésel. A diferencia de un motor a gasolina, el motor Diésel no posee ni un sistema de encendido exterior ni un carburador, pero sí una bomba de inyección de combustible, además por su construcción resulta más robusta al tener trabajar bajo presiones más altas (Kates & Luck, 2021).

### **Hidrógeno como Combustible**

El hidrógeno es el elemento más común en el universo y, por lo tanto, es abundante, pero a diferencia del petróleo, no se encuentran en la Tierra grandes depósitos de hidrógeno. Los átomos de hidrógeno están unidos en moléculas con otros elementos, y se necesita energía para extraer el hidrógeno para que pueda usarse para combustión o celdas de combustible. El hidrógeno no es una fuente de energía primaria, pero puede verse como un medio de intercambio para llevar energía a donde se necesita, al igual que la electricidad.

El hidrógeno es una fuente de energía sostenible y no contaminante que podría utilizarse en aplicaciones móviles y estacionarias. Como portador de energía, podría aumentar nuestra diversidad y seguridad energética al reducir nuestra dependencia de los combustibles basados en hidrocarburos (Mariscal & Ortiz, 2022).

El uso de hidrógeno como combustible para motores de combustión interna, como combustible primario o complementario, parece prometer una mejora significativa en el rendimiento de motores de combustión interna. Además de ser el combustible químico de combustión más limpia, el hidrógeno se puede producir a partir del agua (usándose la energía no fósil) y, a la inversa, en la combustión forma agua nuevamente por ciclo cerrado.

La temperatura de auto ignición de la mezcla de hidrógeno-aire es mayor que la de los otros combustibles de hidrocarburo y, por lo tanto, una pequeña cantidad añadida de hidrógeno produce una calidad de combustible antidetonante. El hidrógeno se caracteriza por tener el coeficiente energía-masa más alto del combustible químico y en términos de consumo

energético masivo supera en unas tres veces al combustible convencional gasolina, al alcohol cinco a seis veces, al metano y propano dos y media veces (González et al., 2018).

Por lo tanto, los resultados establecen claramente que el hidrógeno suplementario puede aumentar la eficiencia efectiva del motor y reducir el consumo específico de combustible. Una pequeña cantidad de hidrógeno mezclado con combustible de hidrocarburo y aire produce una mezcla combustible, que puede quemarse en un motor convencional en una relación de equivalencia por debajo del límite de inflamabilidad pobre de la mezcla de aire/combustible de hidrocarburo. La combustión extremadamente pobre resultante produce una temperatura de llama baja y conduce directamente a una menor transferencia de calor a las paredes, mayor eficiencia del motor y menor escape de CO y NOx (Menaca & Bedoya, 2022).

### **Ley de Faraday**

La ley de Faraday es una relación fundamental proveniente de las ecuaciones de Maxwell, que resulta un resumen de las maneras como un entorno magnético cambiante puede generar una fuerza electromotriz, diferencia de potencial a través del circuito sin carga, o voltaje. La fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la tasa de cambio con el tiempo del flujo magnético que atraviesa el circuito (Pesántez & Tacuri, 2021).

### **Electrolisis**

La electrólisis es un proceso mediante el cual, se separan los elementos de un compuesto químico mediante el uso de una corriente eléctrica. Durante la electrolisis son liberados electrones por los iones con carga eléctrica negativa en el extremo de un material conductor al que se le transfiere corriente eléctrica (electrodo) con carga positiva, ocasionándose una oxidación, y se captan electrones por los iones con carga eléctrica positiva en el cátodo, generándose una reducción. El procedimiento es utilizado en diversos campos, con énfasis en la producción de elementos y compuestos químicos. Por ellos, el hidrógeno puede ser conseguido por electrólisis y emplearse como combustible (Martínez & Camba, 2022).

### **Producción mediante la electrolisis de Hidrógeno**

La electrólisis del agua implica descomponerla en sus elementos básicos oxígeno e hidrógeno, por medio del paso de una corriente eléctrica. A través de este proceso, la energía eléctrica puede almacenarse como energía química contenida en el hidrógeno resultante. El agua es una fuente ideal para producir hidrógeno, porque solo libera oxígeno como subproducto durante el procesamiento.

Entonces la energía química mencionada se produce mediante el almacenamiento de electrones en forma de enlaces químicos estables. La nueva energía química formada se puede utilizar como combustible o volver a convertir en electricidad cuando sea necesario (Martínez & Camba, 2022).

El electrolizador o celda de electrólisis, está compuesto de dos electrodos llamados cátodo y ánodo. Un cátodo es un electrodo con carga negativa, mientras que el ánodo tiene carga positiva.

Ambos cátodos están separados por una membrana llamada electrolito y rodeados de agua. Existen diferentes tipos de electrolizadores, y funcionan de formas ligeramente diferentes debido al uso de distintos tipos de material electrolítico, pero el principio de funcionamiento es el mismo, al aplicar electrólisis los iones de oxígeno se dirigen al ánodo, mientras que los iones de hidrógeno se trasladan hacia el cátodo (Mariscal & Ortiz, 2022).

### **Efectos de mejoramiento en Motores de Combustión Interna del hidrógeno**

A causa de lo difícil y complejo que resulta utilizar el hidrógeno de forma directa como combustible, debido a que como ya se ha mencionado, él no se encuentra de forma libre en la naturaleza, ni depositado en yacimientos como el petróleo, lo que implica una primera barrera en cuanto a su extracción, y luego se tienen también retos para su almacenamiento y transporte, por ello, en los últimos tiempos unas de las opciones por las que se han decantado dentro de las tecnologías limpias, es el uso de propiedades dentro de los procesos de combustión interna que se producen en motores de convencionales (Vinoth et al., 2020).

Mediante un generador de hidrógeno que trabaja bajo el proceso de electrólisis, se separa el agua en dos componentes: dos partes de hidrógeno y una parte de oxígeno, que son gases, el motor al que está conectado el generador recibe tanto al hidrógeno como al oxígeno, lo que genera en conjunto con la mezcla aire combustible propia de un motor de combustión interna (Mariscal & Ortiz, 2022).

Entonces, las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno añadido, favorecen la propagación de la explosión y amplían los límites de dilución con una mayor estabilidad de la combustión. Estas características, suelen traducirse en una disminución de las emisiones y una mejora de las eficiencias, lo cual es de suma importancia para los futuros motores de combustión interna que se propongan alcanzar proporciones de aire y combustible más efectivas y óptimas combustiones (Zaccardi & Pilla, 2020).

## Materiales y Métodos

### Materiales

Para llevar a cabo la investigación se implementaron los siguientes materiales:

El kit generador de hidrógeno funciona mediante el proceso de electrólisis, al convertir el agua en sus componentes constituyentes: hidrógeno y oxígeno puros, para ello, se envía electricidad a través de unas piezas metálicas especialmente diseñadas y suspendidas en el agua, La diferencia de potencial provocada por la electricidad hace que las moléculas de agua se rompan, lo que da lugar a la producción de los elementos puros. La tabla 1 se refiere a las especificaciones del generador de hidrógeno de uso automotriz, Hybrid Car modelo HE7-8000.

### Tabla 1

*Ficha Técnica generador de hidrógeno de uso automotriz, Hybrid Car modelo HE7-8000*

Elemento	Descripción
<b>Apariencia Externa:</b>	Caja Rectangular de resina acrílica de 15 x 15 x 24 cm.
	5 Acoples hidráulicos laterales.
	1 Acople hidráulico para desfogue.
	4 Bornes de acero con tuercas para instalación eléctrica.
<b>Componentes Internos</b>	47 Placas de acero inoxidable constituyendo:
	7 Ánodos.
	8 Cátodos.
	30 Tuercas acero inoxidable.
	32 Neutros.
	49 Empaques de caucho térmico.
	4 Láminas de acrílico.
	12 Pernos de sujeción acero inoxidable.
	48 Tuercas acero inoxidable.
	2 Pernos de conductividad eléctrica.
Cañerías y ductos internos.	
<b>Peso</b>	4.500 gramos

*Fuente.* (Hidroxiecuador, 2022)

Un multímetro es un aparato o instrumento de medición empleado para medir magnitudes físicas relacionadas con la corriente eléctrica: intensidad de corriente, resistencia eléctrica, voltaje o diferencia de potencial eléctrico, entre otras magnitudes. Una serie de implementos eléctricos como: un relé, un switch y diversos cables, que resultaron elementos necesarios para instalar y operar el kit generador al motor Diésel. La tabla 2, describe las especificaciones técnicas del multímetro digital profesional marca Truper modelo MUT-39.

**Tabla 2**

*Ficha Técnica Multímetro marca Truper modelo MUT-39*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tensión CC / CA</b>	200 mV - 1,000 V / 2V - 750 V
<b>Corriente CC / CA</b>	2 mA - 20 A / 200 mA - 20 A
<b>Resistencia</b>	200 Ohm - 20 M Ohm
<b>Temperatura</b>	(°C) -40° C a 1,000° C
<b>Capacitancia</b>	20 nF - 20 mF
<b>Frecuencia</b>	0 - 60 MHz
<b>Empaque individual</b>	Caja
<b>Inner</b>	2
<b>Master</b>	8
<b>Incluye</b>	2 Puntas probadoras 1 Sonda termopar Batería de 9 V

*Fuente.* (TRUPER, 2022)

En cuanto al medidor de opacidad, que, con la cantidad de luz bloqueada en el humo emitido por el motor diésel, permite determinar la cantidad de material particulado, producto del humo y polvo presente en el gas de escape, y de esta forma definir un nivel de opacidad, se utilizó un opacímetro modelo OPABOX Autopower de la marca TEXA cuya ficha técnica se observa en la tabla 3 (Imbaquingo et al., 2020).

**Tabla 3**  
*Ficha Técnica OPABOX Autopower*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Dimensiones</b>	460 x 200 x 250 mm
<b>Peso</b>	6,5 kg (con carro 15 kg)
<b>Alimentación Externa</b>	2 baterías de plomo de 12 V 7 A/h; Consumo máximo: 80 W
<b>Puerto Serie</b>	RS232 estándar
<b>Salida Inalámbrica</b>	Bluetooth
<b>Software</b>	ETS o IDC5
<b>Reseteo y Calibración</b>	Electrónica y Automática
<b>Tecnología</b>	Diodo Led Verde
<b>Tiempo de Calentamiento</b>	máximo 5 minutos
<b>Longitud de Cámara</b>	200 mm
<b>Temperatura</b>	75°C

*Fuente.* (TEXA, 2014)

### **Método deductivo**

Metodológicamente, aparte de trabajarse bajo un diseño experimental, la presente investigación exhibió un alcance explicativo, el cual está muy asociado a los estudios experimentales, donde se busca establecer las relaciones de causas y efectos entre sus variables, en este caso entre la implementación del generador de hidrógeno al motor diésel y el nivel de opacidad en los gases de escape.

Como indican Arias & Covinos (2021), sobre el alcance explicativo:

Aquí se puede utilizar la variable independiente de dos formas: de forma que se puede observar y medir, y de forma que se pueda manipular, cuando se manipula o controla la variable independiente esta no se mide; se establece la operacionalización de variables con las variables independiente y dependiente (p. 72)

En el caso de la investigación, se medirá la variable dependiente, el nivel de opacidad, antes y después de la intervención de la variable independiente, el kit generador de hidrógeno, que pudo o no presentar modificaciones luego de implementada.

Para Arias & Covinos (2021), el diseño experimental resulta en:

Es un proceso cuya principal característica es verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, ello implica la manipulación o el control de la variable independiente, para ello se necesita un plan de acción que pueden establecer por etapas,

como un programa de intervención o de forma nivelada estableciendo parámetros de rangos (p. 73)

En esta investigación, como ya se mencionó, la variable independiente es el sistema de hidrógeno que se ha implementado en el sistema de admisión de un motor Diésel y la variable dependiente el nivel de opacidad de las emisiones contaminantes de dicho motor, por eso las etapas experimentales del presente estudio, pasaron por realizar las pruebas de opacidad en las emisiones del motor con sus especificaciones regulares, luego se dio la implementación del sistema de hidrógeno, la realización nuevamente, de las pruebas con el sistema y finalmente el análisis de los resultados para la comprobación o refutación de las hipótesis.

El alcance geográfico de la investigación se centró en la provincia de Pichincha, específicamente en el cantón Quito entre el Sur y Centro Norte del Distrito Metropolitano, a 2850 m sobre el nivel del mar y a temperaturas que rondan los 9 °C a 19 °C (en promedio), es decir se cumplen con las condiciones ambientales de funcionamiento de la norma NTE INEN 2349 (2003). Es elegido el lugar, debido a que constituye una de las zonas donde más contaminación se produce por parte de las unidades de transporte de pasajeros.

La ruta iniciaría en el Sur de la ciudad en el sector del Girón de chillo gallo, y termina en el sector Centro Norte de la ciudad en el consejo provincial de Pichincha. Esta es una ruta real de un bus de transporte de pasajeros, ruta que consta de 14 km de recorrido de ida y 14 km de regreso. Mismo que se realiza de lunes a viernes. La ruta se elige por ser una ruta intraurbana de gran extensión ejecutada por un vehículo al cual se tenía acceso durante la investigación.

## Resultados y Discusión

### Resultados

En el presente estudio se implementó un sistema de hidrógeno en un motor diésel marca Cummins modelo 6BTA de una unidad de transporte urbano de tipo escolar, autobús Yutong ZK6100HB. Esta adaptación, fue realizada al seguir las indicaciones del fabricante y no implicó mayores contratiempos para el uso cotidiano del transporte del estudio, además se puede señalar, que las condiciones mecánicas del sistema de combustión del vehículo se encontraban óptimas, ya que se realizaron los mantenimientos respectivos, antes de efectuar las pruebas, de forma tal, que esta no incidieran en los resultados esperados.

Entre las normas que tratan lo relativo al uso de mezcla Diésel-hidrógeno, donde este último se encontrara en estado gaseoso, se mencionan las normas UNE-EN 590: (2022) que versa sobre Combustibles para motor diésel y la norma NTE INEN-ISO 14687 (2014) que maneja las especificaciones de Hidrógeno como combustible, aclarándose que no se encontró al momento una norma específica para la mencionada mezcla.

Se midió la opacidad en los gases de escape antes y después de la implementación del sistema de hidrógeno. Los valores de opacidad antes y después de la implementación del sistema de hidrógeno se reflejan en la tabla 4 y la figura 1:

**Tabla 4**

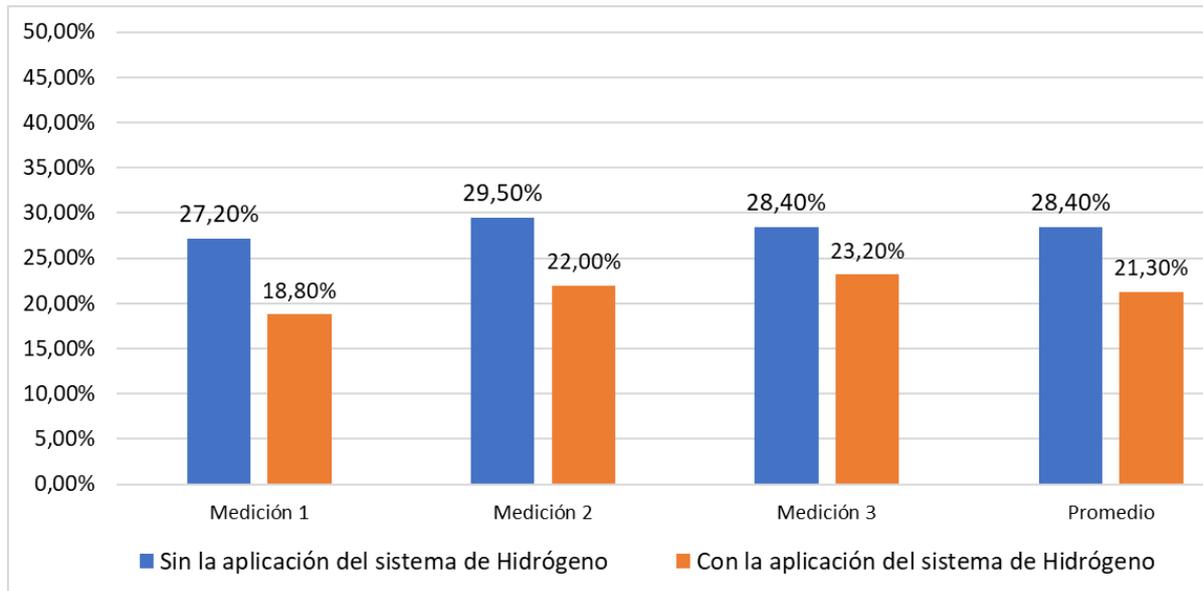
*Resultados de las Mediciones de los niveles de Opacidad*

<b>Sin la aplicación del sistema de Hidrógeno</b>	
<b>Medición</b>	<b>Valor de Medición de Opacidad</b>
1	27,2%
2	29,5%
3	28,4%
<b>Promedio</b>	<b>28,4%</b>
<b>Con la aplicación del sistema de Hidrógeno</b>	
<b>Medición</b>	<b>Valor de Medición de Opacidad</b>
1	18,8%
2	22,0%
3	23,2%
<b>Promedio</b>	<b>21,3%</b>

*Fuente. Autores (2023)*

## Figura 1

### Resultados de las Mediciones de los niveles de Opacidad



Fuente. Autores (2023)

Se obtiene entonces una reducción de un 7,1 punto porcentual, al comparar a los porcentajes de opacidad promedios, obtenidos antes y después del sistema de hidrógeno, esta reducción se puede expresar de manera porcentual como del 24,79%.

## Discusión

La opacidad en los gases de escape es un indicador importante de la calidad de la combustión en un motor diésel. Una mayor opacidad indica una combustión incompleta y una mayor emisión de partículas contaminantes en el medio ambiente. En el presente estudio, se observó una reducción significativa del 24,79% en la opacidad después de la implementación del sistema de hidrógeno. Esto indica que el sistema de hidrógeno ha mejorado la calidad de la combustión en el motor diésel, al disminuir la emisión de partículas contaminantes en el medio ambiente.

Estos resultados son cónsonos con los obtenidos por Cardona et al. (2020) donde se señala que “Las emisiones de hidrocarburos sin quemar, y de CO, siempre disminuyen a medida que se agrega hidrógeno a la mezcla combustible” (p. 75), análogamente a lo encontrado en la investigación de Menaca & Bedoya (2022) que afirman:

Los motores duales diésel-hidrógeno consiguen disminuir significativamente las emisiones de COx y hollín respecto al motor diésel convencional. Esto se debe a que el hidrógeno no posee cadenas carbonadas, como sí las posee el diésel. La combustión del hidrógeno reduce las emisiones contaminantes, ya que el producto de este proceso de combustión es agua (p. 49).

Otro estudio a destacar que se compagina con el presente, es el de Serrano (2019) donde se determina que “En el motor de combustible dual H<sub>2</sub>-diésel, la relación carbono-oxígeno puede disminuir significativamente con la disminución del combustible diésel, lo que resulta en una reducción drástica de las emisiones de las partículas” (p. 96)

Finalmente se mencionan los resultados de la investigación realizada por (Mariscal & Ortiz (2022) donde se realizó también una prueba de opacidad con y sin un sistema de hidrógeno, obteniéndose que “la variación que existe cuando se tiene activado el generador de hidrógeno, se observa una variabilidad máxima de 0,51 % de opacidad en las diez pruebas realizadas, cinco sin la presencia de hidrógeno y cinco con el generador de hidrógeno encendido” (p. 156).

Entonces el caso de la investigación anterior específicamente se señala también una reducción y el porcentaje de la opacidad registrado para un número de pruebas lo que permite concluir, que sí evidencia una reducción en cada caso, de la emisión de gases contaminantes al utilizar un sistema de hidrógeno en un motor diésel convencional.

La relación directa entre el nivel de opacidad y la huella de carbono no es una relación establecida ni cuantitativamente precisa. La opacidad se utiliza como un indicador visual de las partículas en suspensión en los gases de escape, mientras que la huella de carbono se refiere a la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Es importante tener en cuenta que la opacidad es solo un aspecto de las emisiones de los vehículos diésel y no refleja la composición completa de los gases emitidos. Para evaluar la huella de carbono de un vehículo diésel y compararla con la reducción de la opacidad, se necesitaría considerar mediciones específicas de las emisiones de gases contaminantes, como el CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero.

Dicho esto, existen investigaciones y estudios que han demostrado una correlación entre la reducción de la opacidad y una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> y partículas de carbono. Sin embargo, la magnitud de esta correlación puede variar en función de varios factores, como las condiciones de conducción, la calidad del combustible, el diseño del vehículo y la eficiencia del sistema generador de hidrógeno.

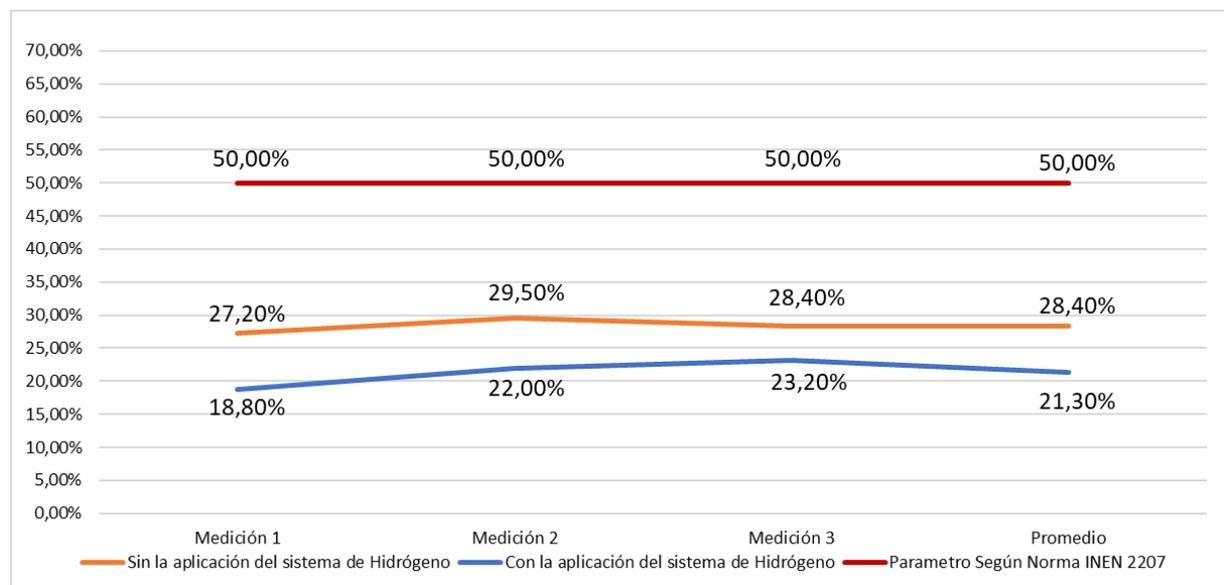
Es por ello que no se pueden relacionar directamente las mediciones de opacidad del presente estudio con la huella de carbono, pero se puede sugerir de forma acertada que ante una disminución de la opacidad se tendrán efectos similares en cuanto a la reducción de la huella de carbono, en este caso en vehículos que trabajen con combustible Diésel y que utilicen un sistema de Hidrógeno. Por ello se puede inferir, que, si la disminución de la opacidad está relacionada con la disminución de gases contaminantes en el parque automotor de la ciudad de Quito, que trabaja con Diésel, se podría afectar directamente dos factores del Índice Kaya: la intensidad de carbono y posiblemente la intensidad energética.

El primer de factor está referido a la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por unidad de energía consumida, mientras que el segundo representa la relación entre la energía consumida y el producto interno bruto (PIB). Si la disminución de los gases contaminantes en el parque automotor de Quito se logra a través de mejoras en la eficiencia energética de los

vehículos o la implementación de tecnologías más eficientes, es posible que también se observe una reducción en la intensidad energética. Una menor intensidad energética indicaría que se requiere menos energía para producir una unidad de producción económica, lo que puede conducir a una reducción en las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

Como la huella de carbono de un vehículo se puede calcular por medio del recorrido del vehículo o del consumo de combustible, este estudio podría complementarse o dar pie a nuevas investigaciones donde en base a lo realizado se establezcan metodologías, donde se manejen datos de eficiencia de combustible del vehículo en estudio, o utilizando valores estándar para diferentes tipos de vehículos. Teniendo en cuenta que el enfoque planteado, no considera el consumo de combustible específico, sino que se basa únicamente en la distancia recorrida y las emisiones asociadas, por lo cual se requeriría un estudio más completo de emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Figura 2**  
*Comparación de los niveles de Opacidad con el margen permitido por la Norma INEN 2207*



*Fuente. Autores (2023)*

Lo que sí se puede afirmar, es aun cuando el vehículo de estudio no contaba con el sistema de Hidrógeno ya está por debajo de los parámetros máximos permitidos, el uso del sistema redujo estos valores de forma tal que, si se aplicara una modificación al nivel mínimo de opacidad, por ejemplo, al 30%, con los valores sin el sistema se estaría alcanzando ese límite y con el sistema de Hidrógeno se estaría por debajo al menos en un 5%.

Los resultados positivos obtenidos en este estudio respaldan la viabilidad y la utilidad de la implementación de sistemas de hidrógeno en motores diésel. Esto podría abrir la puerta a considerar esta tecnología como una solución prometedora para abordar los desafíos ambientales en el sector del transporte, indicando que el sistema redujo estos valores en donde ejemplificó la modificación al nivel mínimo de opacidad al 30%; por otro lado, con los valores

sin el sistema se estaría alcanzando ese límite y con el sistema de Hidrógeno se estaría por debajo al menos en un 5%.

En contraste con lo mencionado anteriormente, a pesar de los resultados alentadores es importante continuar investigando y mejorando la tecnología de sistemas de hidrógeno en motores diésel. Se requiere una evaluación continua de la durabilidad, el mantenimiento y la eficacia a largo plazo del sistema para garantizar su sostenibilidad y eficiencia.

Se recomienda realizar mediciones adicionales para evaluar la calidad del aire en el entorno en el que se encuentra el vehículo de estudio y comparar los resultados con los valores límite establecidos por las regulaciones ambientales locales. Además, se sugiere considerar la implementación del sistema de hidrógeno en otros vehículos de transporte para evaluar su efectividad en diferentes contextos y escenarios.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos durante el estudio arrojan conclusiones significativas en cuanto a la eficacia del sistema de hidrógeno en la reducción de emisiones contaminantes y en la mejora del consumo de combustible.

- Se logró una minuciosa recopilación de información relevante relacionada con el proyecto y el kit utilizado para implementar la función de hidrógeno en el motor diésel. Esta fase ha proporcionado un fundamento sólido para la ejecución del estudio de investigación.
- Se alcanzó, una revisión de los resultados de emisiones contaminantes según el método de ensayo prescritos por la normativa NTE INEN 2202, tanto antes como después, de la implementación del sistema de hidrógeno. Donde, se identificó una notable disminución del 24,79% en la opacidad de los gases de escape. Estos resultados reflejan una mejora sustancial en la calidad de la combustión del motor diésel después de la adaptación del sistema de hidrógeno.
- Se logró, realizar una comparación de las medidas de las pruebas realizadas, estos resultados están en consonancia con investigaciones previas, que respaldan la idea de que la adición de hidrógeno a la mezcla de combustible puede reducir las emisiones contaminantes y consumo de combustible aplicado en una ruta inter parroquial urbana con alto nivel de tráfico vehicular y contaminación ambiental por parte de vehículos de misma categoría. Esta combustión de hidrogeno da como resultado, la producción de agua en lugar de partículas contaminantes, lo que tiene un impacto positivo en la calidad del aire y contribuye al esfuerzo global por reducir la contaminación ambiental.

En este sentido, aunque no es posible establecer una relación directa entre la opacidad y la huella de carbono, los resultados de esta investigación sugieren, que una disminución de la opacidad puede indicar una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y partículas de carbono. Si bien esta correlación puede ser influenciada por una variedad de factores, como las condiciones de conducción, la calidad del combustible y el diseño del vehículo, lo cual, apunta a que la implementación de sistemas de hidrógeno puede tener un impacto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

## Bibliografía

- AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). UNE-EN 590:2022. *Combustibles para automoción. Combustibles para motor diésel (gasóleo). Requisitos y métodos de ensayo*. España.
- Agencia UNAL. (2020, junio 05). *Contaminación vehicular genera sobrecostos para la salud*. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/contaminacion-vehicular-genera-sobrecostos-para-la-salud#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20generada%20por,bronquial%20e%20incluso%20enfermedades%20cardiovasculares>.
- Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Arequipa, Perú: Enfoques Consulting E.I.R.L.
- Cardona, A., Jaramillo, J., & Amell, A. (2020). Evaluación del comportamiento de un motor diésel modo encendido provocado con biogás enriquecido con CH<sub>4</sub> e hidrógeno. *Scientia Et Technica*, 25(1), 65–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.22517/23447214.22311>
- González, J., Díaz, Á., & González, O. (2018). Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 143–154. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018013>
- Herrera, D., Bermúdez, J., & Castilla, C. (2020). Análisis del desempeño de la potencia y el torque de un motor diésel operando con mezclas de biodiésel de palma. *Ingeniería*, 25(3), 250-263. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448393.15676>
- HidroxiEcuador. (2022). *Ficha Técnica generador de hidrógeno de uso automotriz, Hybrid Car modelo HE7-8000*. <http://www.hidroxi.webs.tl/>
- Imbaquingo, R., Cevallos, A., & Mafla, C. (2020). Disminución de la opacidad en las emisiones de gases contaminantes en motores de encendido por compresión mediante el uso de biodiésel B5 y B10 a base de algas (chlorella). *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 212-223. <https://doi.org/https://doi.org/10.14482/inde.38.1.621.4>
- INEN. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2002). Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2207:2002. *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel*. Quito, Ecuador.

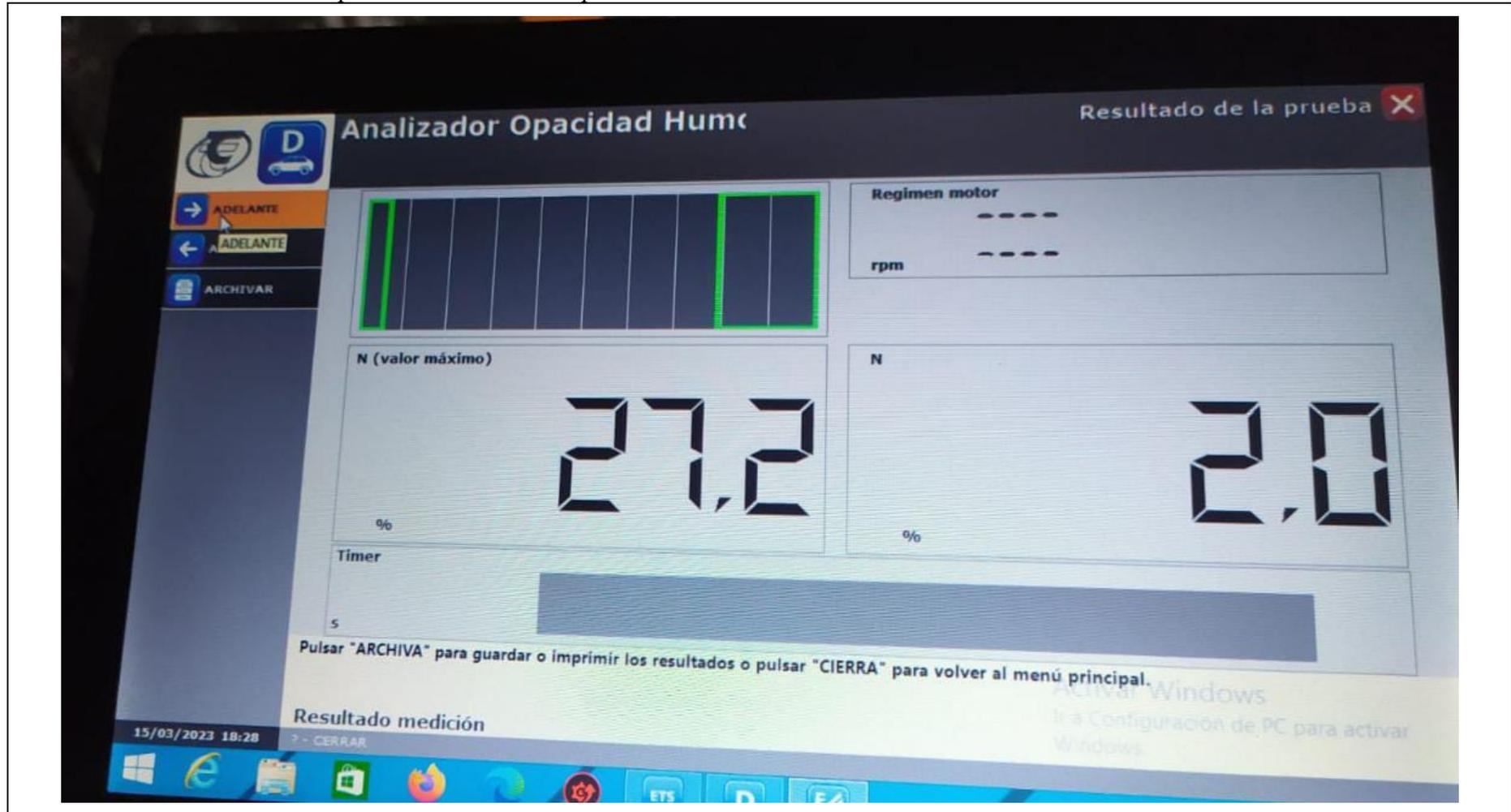
- INEN. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2003). Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2349:2003. *Revisión técnica vehicular. Procedimientos*. Quito, Ecuador.
- INEN. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2202:2013. *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre*. Quito, Ecuador.
- INEN. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2014). NTE INEN-ISO 14687. *Hidrógeno como combustible. Especificaciones de producto*. Quito, Ecuador.
- ISO Organización Internacional de Normalización. (1999). Norma ISO 11614:1999. *Motores alternativos de combustión interna de encendido por compresión. Aparatos para medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción de luz de los gases de escape*. <https://www.iso.org/standard/19551.html>
- Kates, E., & Luck, W. (2021). *Motores diésel y de gas de alta compresión* (2da ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Mariscal, D., & Ortiz, A. (2022). *Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga., Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Carrera de Ingeniería Automotriz, Latacunga, Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/32983>
- Martín, J. (2020). *Diagnóstico de la combustión en motores diésel de inyección directa*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Martínez, D., & Camba, J. (2022). *Diseño de un reactor y determinación de la concentración de sales, para generar oxihidrógeno (HHO) mediante electrolisis del agua y su aplicación en automotores de combustión interna*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65369>
- Menaca, R., & Bedoya, I. (2022). Una revisión del uso del hidrógeno en motores de encendido por compresión (diésel) y un análisis de su posible uso en motores duales en Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 21(3), 33–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v21n3-2022004>

- Montero, I., Vinueza, M., Castillo, G., Ruano, D., & Martín, N. (2020). Afecciones respiratorias y contaminación ambiental en Riobamba, Ecuador. *Correo Científico Médico*, 24(1), 117-131. <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3368>
- Motor Terra. (1 de diciembre de 2020). *El diésel en Ecuador contamina cinco veces más que el combustible de otros países*. <https://www.motorterra.com/el-diesel-en-ecuador-contamina-cinco-veces-mas-que-el-combustible-de-otros-paises/>
- Pesántez, J., & Tacuri, J. (2021). *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible*. Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21256>
- Serrano, J. (2019). *Análisis de estrategias para la combustión dual gasóleo-hidrógeno orientadas a la reducción de emisiones: desarrollo teórico-experimental sobre motor diésel common-rail y aplicación en motores diésel lentos de dos tiempos*. Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla, España. <https://hdl.handle.net/11441/88049>
- TEXA. (28 de junio de 2014). *GASBOX – OPABOX AUTOPOWER*. <https://www.texa.com/products/gasbox-opabox-autopower/>
- TRUPER. (04 de 02 de 2022). *Multímetro digital profesional con RMS verdadero*. [https://www.truper.com/ficha\\_tecnica/Multimetro-digital-profesional-con-RMS-verdadero-3952.html](https://www.truper.com/ficha_tecnica/Multimetro-digital-profesional-con-RMS-verdadero-3952.html)
- Vinoth, I., Vasudevan, A., & Subramani, K. (2020). Internal combustion engine efficiency enhancer by using hydrogen. *International Journal of Ambient Energy*, 41(2), 237-240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1456961>
- Zaccardi, J., & Pilla, G. (2020). Hydrogen as a Combustion Enhancer for Highly Efficient Ultra-Lean Spark-Ignition Engines. *SAE International*, 2(1), 401-414. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2019-01-2258>

## Anexos

### Anexo 1.

Mediciones Realizadas con el Opacímetro antes de la aplicación del Sistema



# Analizador Opacidad Humc

Resultado de la prueba ✕



ADELANTE

Atrás

ARCHIVAR

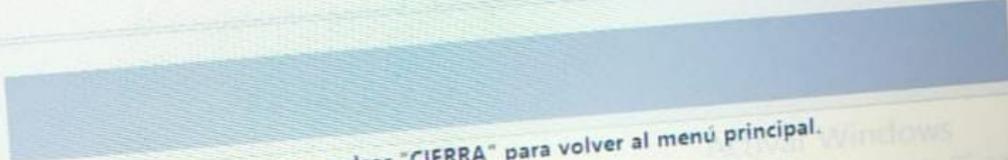


N (valor máximo)

29,5

%

Timer



Pulsar "ARCHIVA" para guardar o imprimir los resultados o pulsar "CIERRA" para volver al menú principal.

Regimen motor

---

rpm

---

N

2,0

%

Windows  
Inicio de sesión de PC para NetStar



# Analizador Opacidad Humc

- ADELANTE
- ← Atrás
- ARCHIVAR

Resultado de la prueba ✕



Regimen motor  
 ---  
 rpm  
 ---

N (valor máximo)  
 28.4  
 %

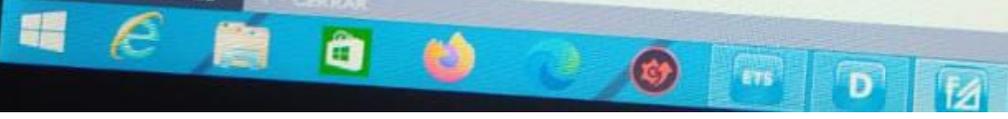
N  
 1.0  
 %

Timer  
 s

Pulsar "ARCHIVA" para guardar o imprimir los resultados o pulsar "CIERRA" para volver al menú principal.

Resultado medición

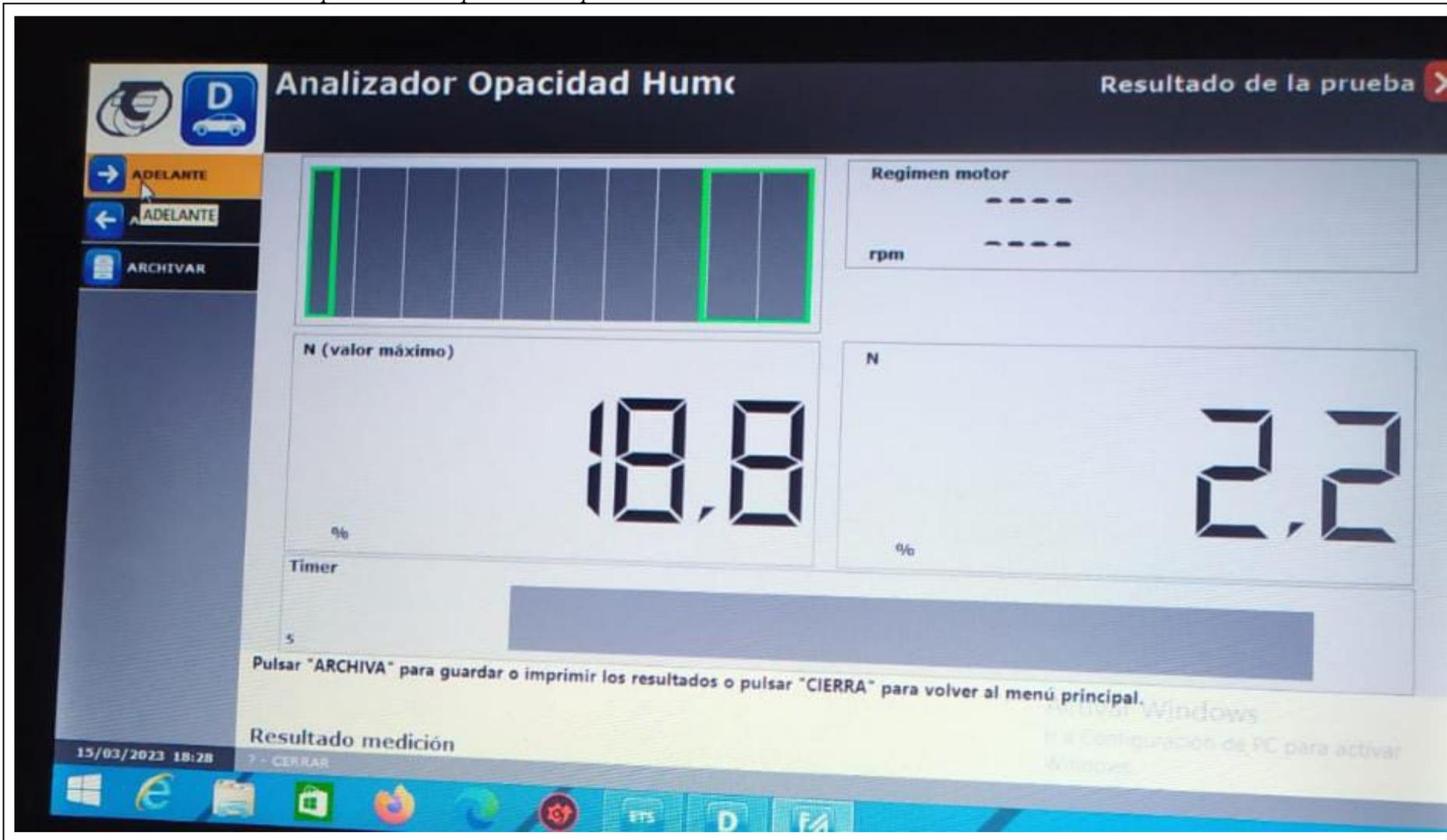
15/03/2023 18:28



Activar Windows  
 Ir a Configuración de PC para activar Windows

Anexo 2.

Mediciones Realizadas con el Opacímetro después de la aplicación del Sistema





# Analizador Opacidad Humc

Resultado de la prueba ✕

- ADELANTE
- ← ADELANTE
- ARCHIVAR



Regimen motor

---

rpm

---

N (valor máximo)

22,0

%

N

2,6

%

Timer

S

Pulsar "ARCHIVA" para guardar o imprimir los resultados o pulsar "CIERRA" para volver al menú principal.

Resultado medición

15/03/2023 16:28

T - CERRAR

Windows  
Ir a Configuración de PC para activar Windows



# Analizador Opacidad Humo

Resultado de la prueba ✖

- ADELANTE
- ← ADELANTE
- ARCHIVA



Regimen motor  
---  
rpm ---

N (valor máximo)  
**23,2**  
%

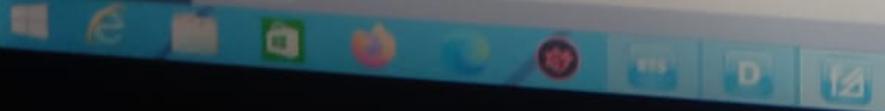
N  
**2,6**  
%

Timer  
s

Pulsar "ARCHIVA" para guardar o imprimir los resultados o pulsar "CIERRA" para volver al menú principal.

Resultado medición

01/04/2023 01:18

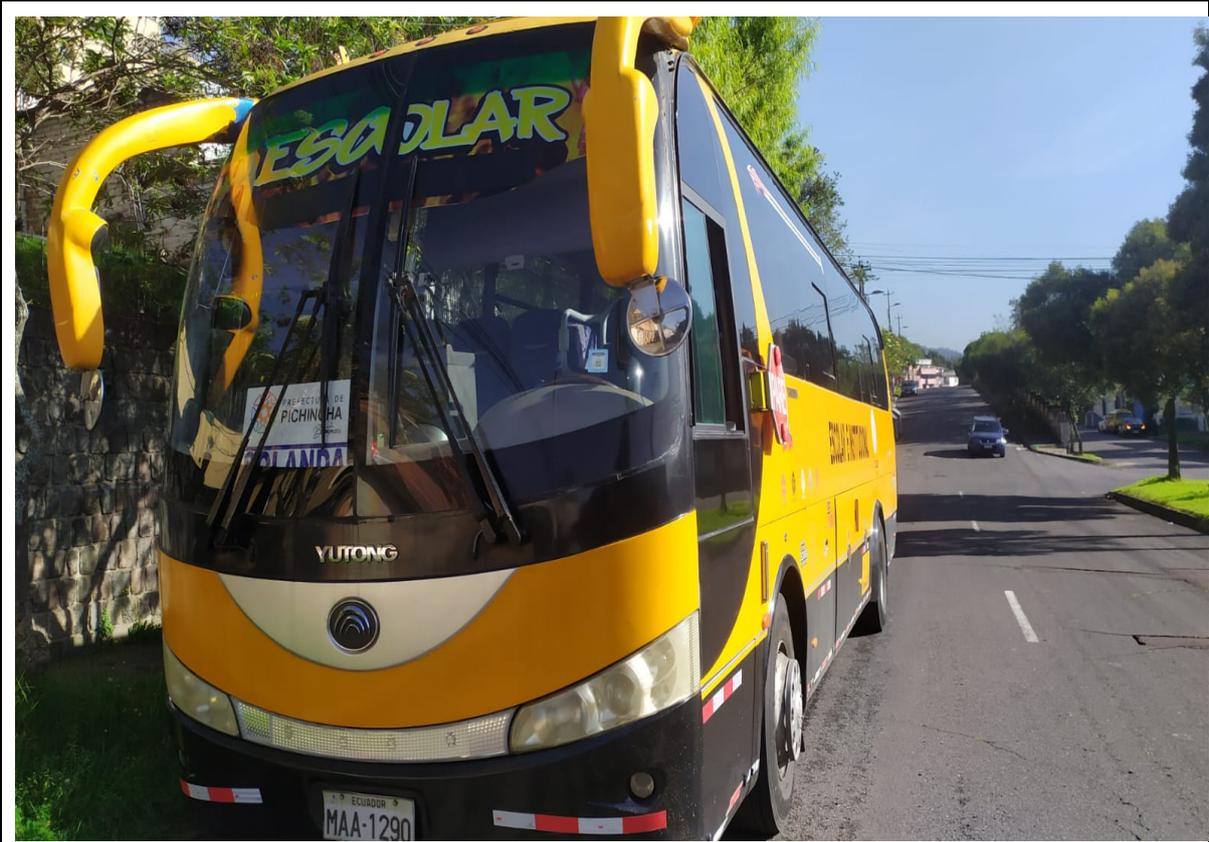


1:21  
01/04/2023

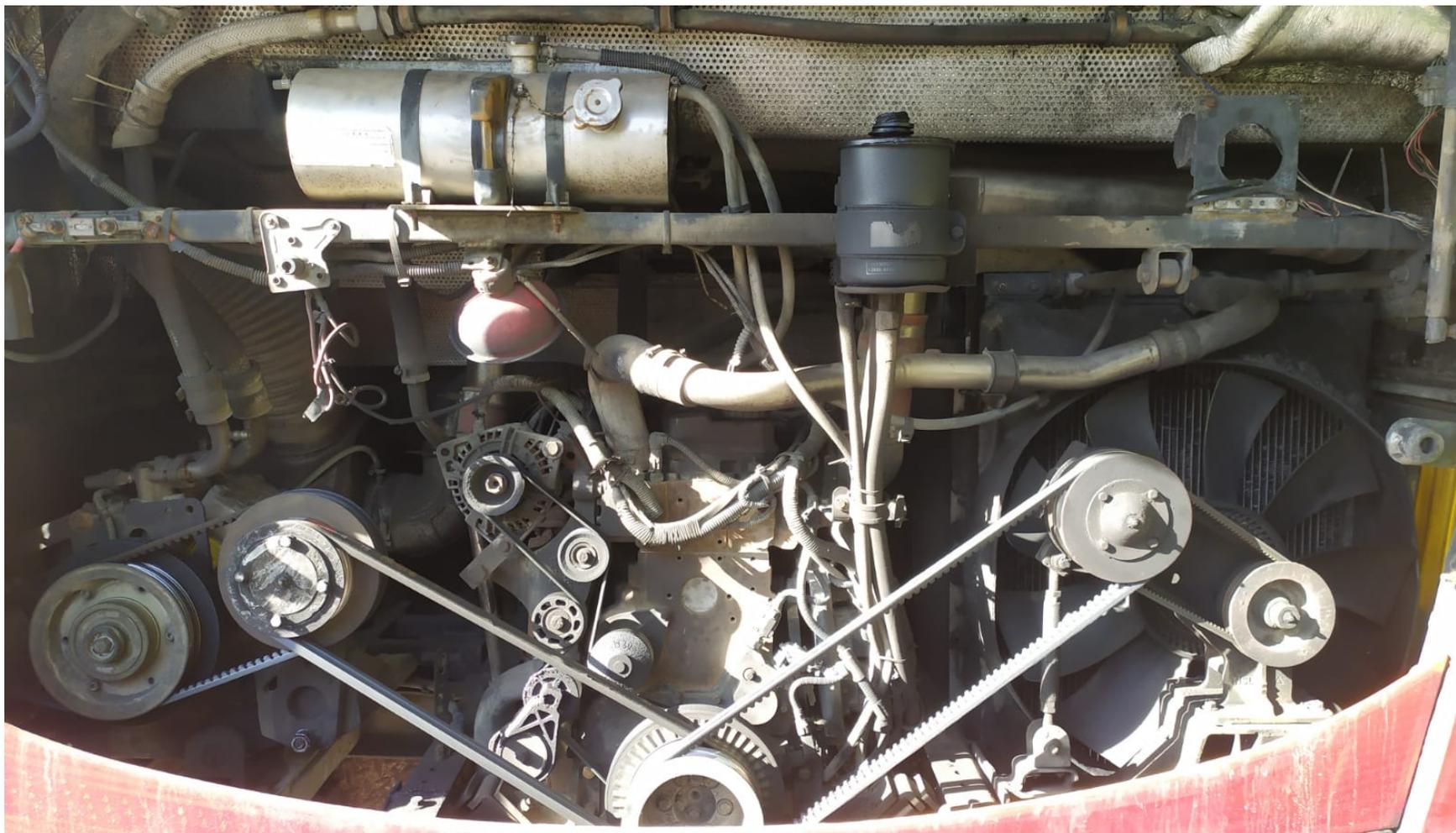
**Anexo 3.**

*Unidad de transporte urbano de tipo escolar, autobús Yutong ZK6100HB*

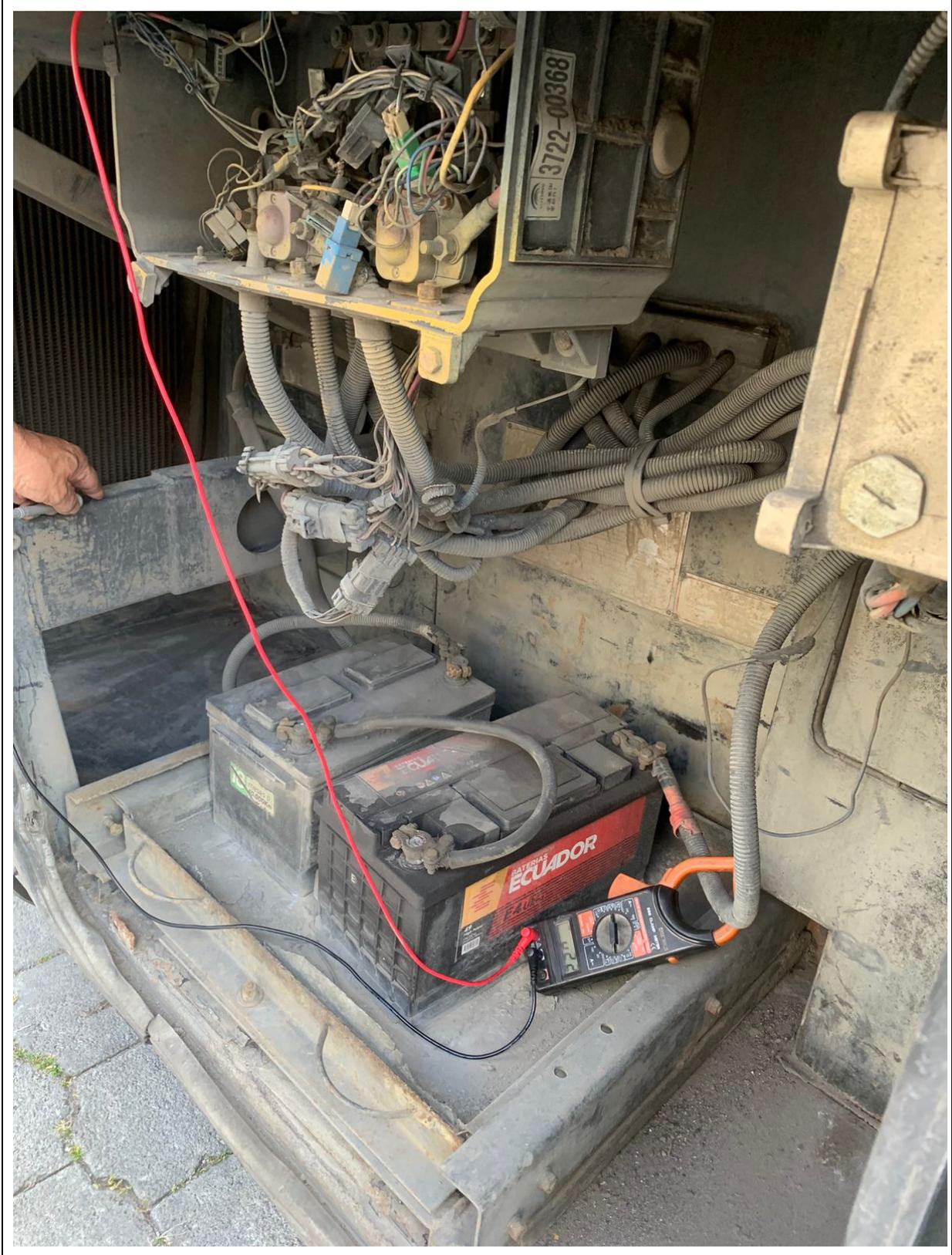




*Anexo 4.*  
*Motor diésel marca Cummins modelo 6BTA*

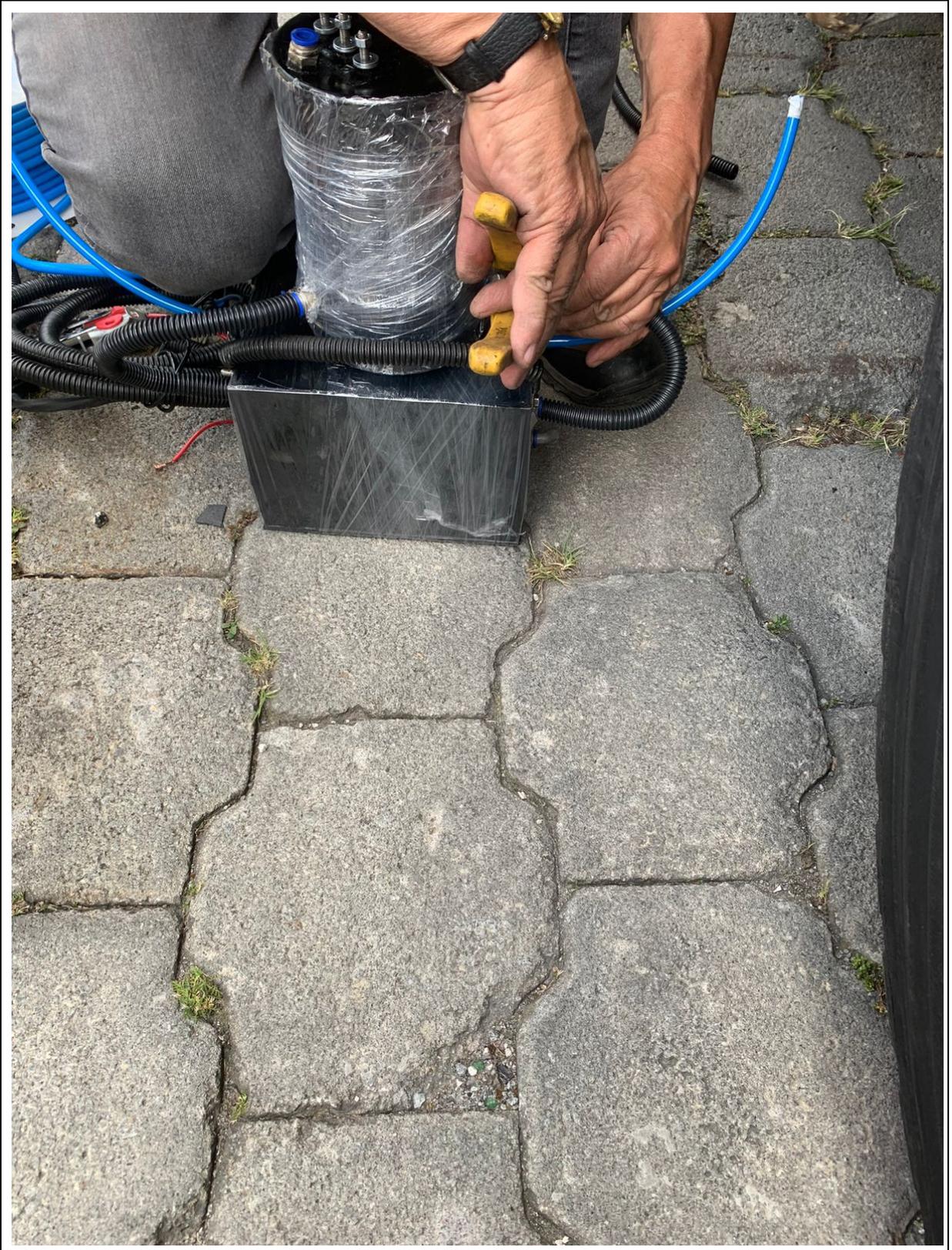


*Anexo 5.  
Proceso de instalación del sistema de alimentación de hidrógeno*









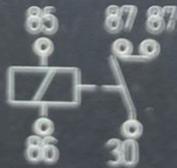






 BOSCH  
0 332 019 203

250



V23234-C1004-Y017  
24V 15-05-15 12:30 P1

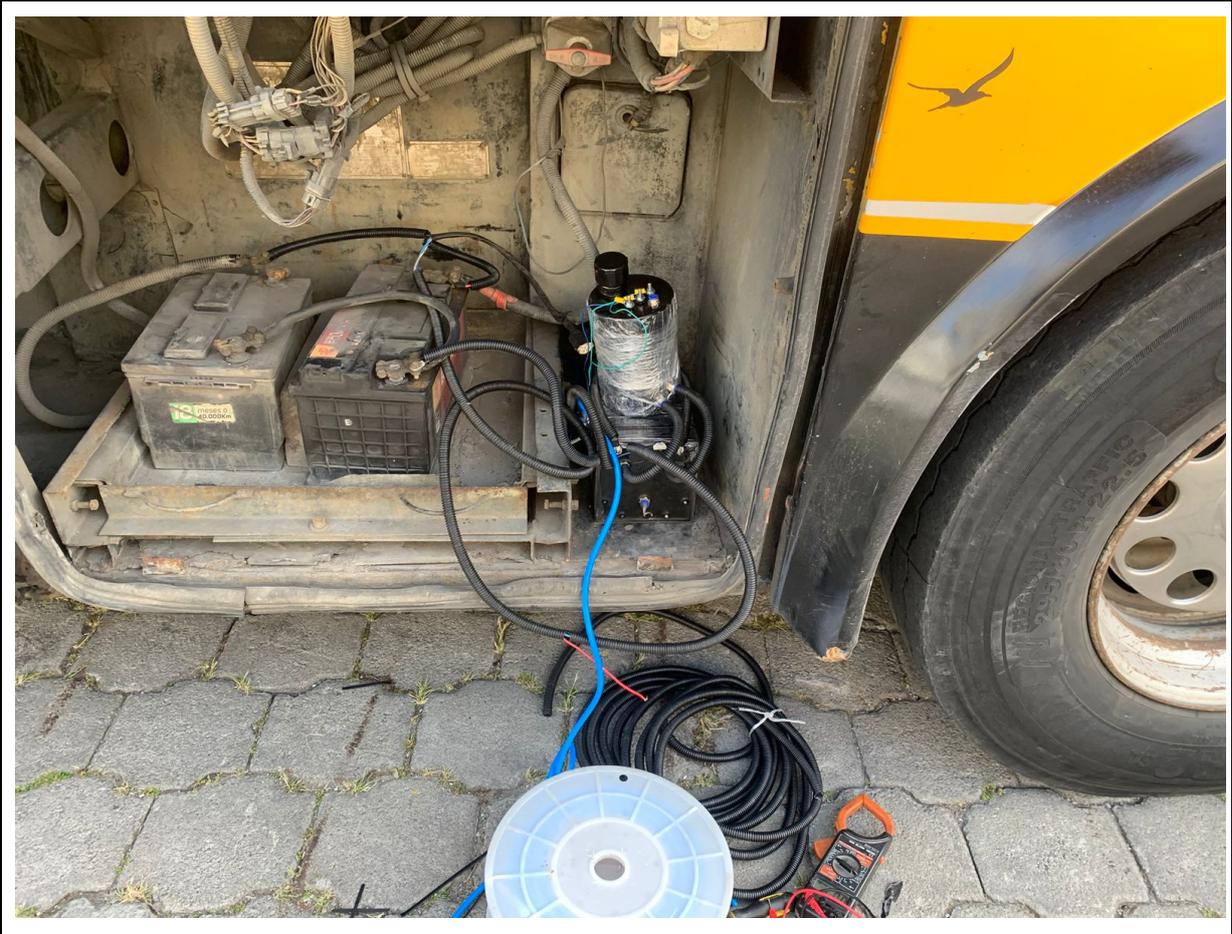


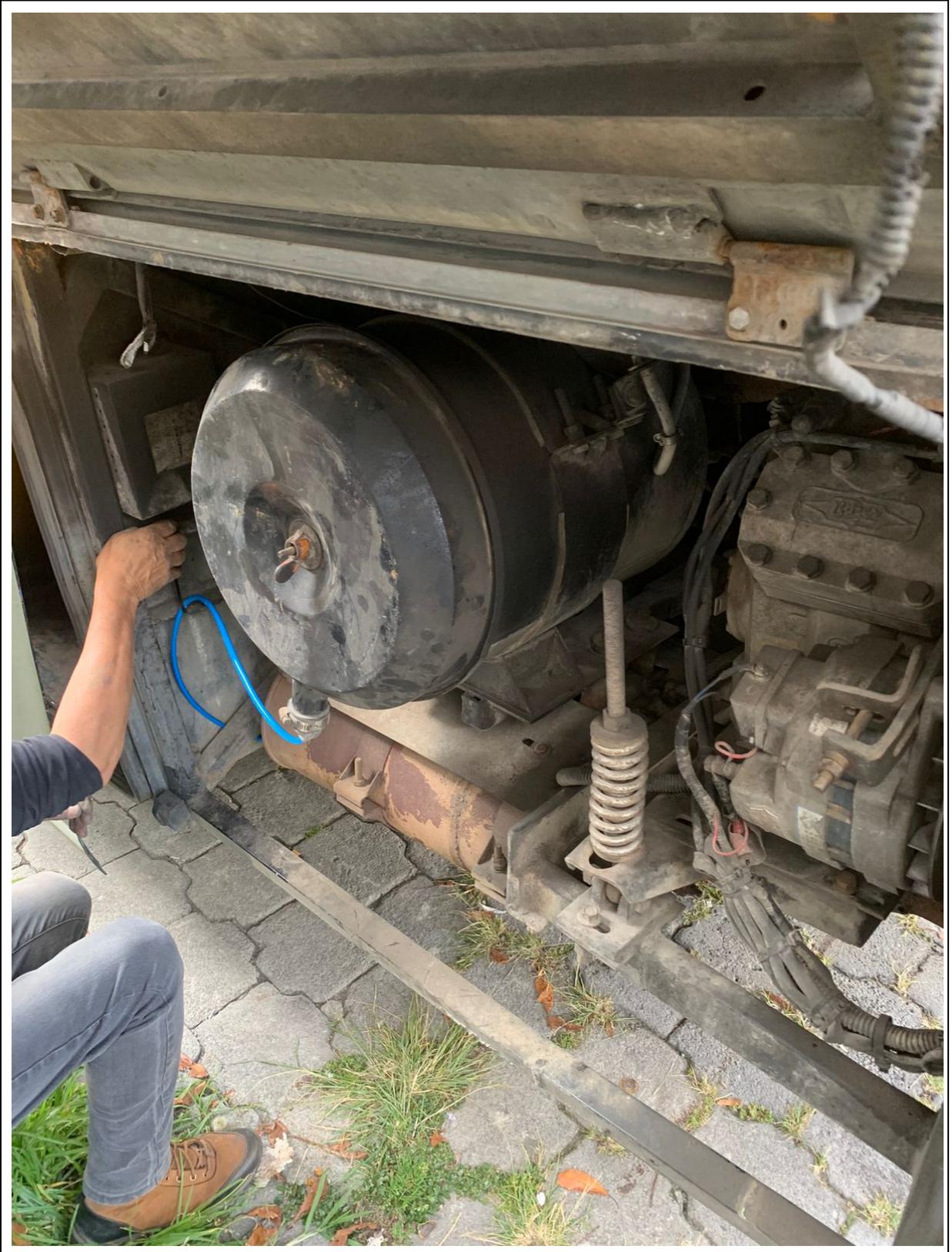














**Anexo 6.**

*Opacimetro modelo OPABOX Autopower de la marca TEXA*





*Anexo 7.*  
*Ficha técnica de generador de hidrogeno*



**GENERADOR DE HIDRÓGENO DE USO AUTOMOTRÍZ  
HYBRID CAR MODELO HE7-8000**

**FICHA TÉCNICA**

**APARIENCIA EXTERNA:**

- CAJA RECTANGULAR DE RESINA ACRÍLICA DE 15 x 15 x24 cm.
- 5 ACOPLEROS HIDRÁULICOS LATERALES
- 1 ACOPLEROS HIDRÁULICO PARA DESFOGUE
- 4 BORNES DE ACERO CON TUERCAS PARA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

**COMPONENTES INTERNOS:**

- 47 PLACAS DE ACERO INOXIDABLE CONSTITUYENDO:
- 7 ÁNODOS
- 8 CÁTODOS
- 30 TUERCAS ACERO INOXIDABLE
- 32 NEUTROS
- 49 EMPAQUES DE CAUCHO TÉRMICO
- 4 LÁMINAS DE ACRÍLICO
- 12 PERNOS DE SUJECIÓN ACERO INOXIDABLE
- 48 TUERCAS ACERO INOXIDABLE
- 2 PERNOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
- CAÑERÍAS Y DUCTOS INTERNOS.

**PESO:**

4.500 GRAMOS

EL SISTEMA TRABAJA MEDIANTE ELECTRÓLISIS DEL AGUA PARA OBTENER HIDRÓGENO Y OXÍGENO.

ING. RAÚL TORRES S.

HIDROXIECUADOR

Pedro Pinto E4-368 y Av. Napo Edif. Esmeraldas 101-A  
Tlf. 02-3132837 / 0998076299  
Quito – Ecuador  
[www.hidroxi.webs.tl](http://www.hidroxi.webs.tl)  
hidroxiecuador@gmail.com

**Anexo 8.**  
*Norma Española UNE-EN 590*



**Norma Española**  
**UNE-EN 590**

Mayo 2022  
Versión corregida, Junio 2022

**Combustibles para automoción**  
**Combustibles para motor diésel (gasóleo)**  
**Requisitos y métodos de ensayo**

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico  
CTN 51 *Productos petrolíferos*, cuya secretaría  
desempeña AOP.



**EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN 590**



Asociación Española  
de Normalización  
Génova, 6 - 28004 Madrid  
915 294 900  
info@une.org  
www.une.org

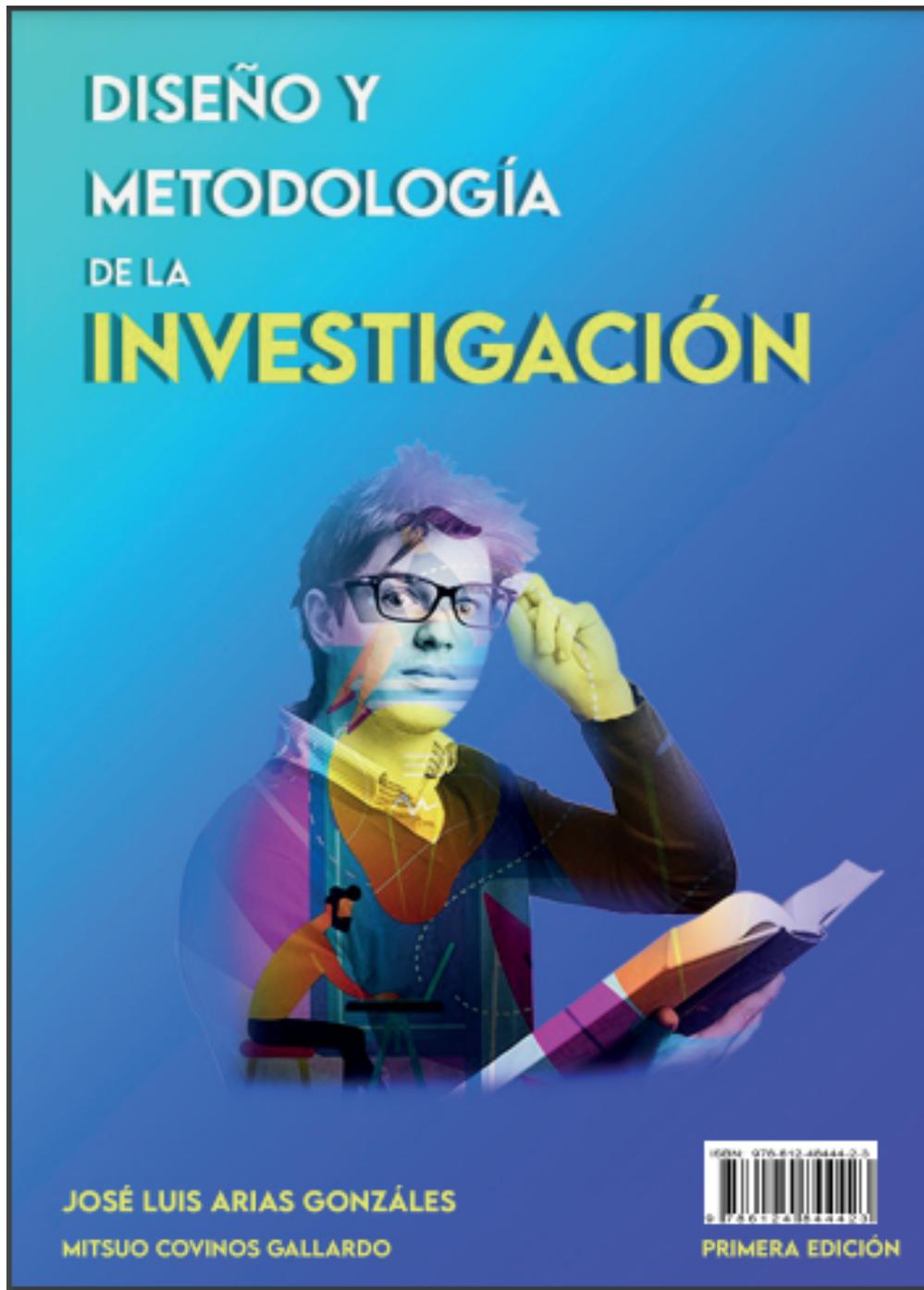
*Anexo 9.*  
*Contaminación vehicular*

## Contaminación vehicular genera sobrecostos para la salud

Manizales | 05 de Junio de 2020 | Created by fin/LGH/MLA/LOF | N.º 541



*Anexo 10.*  
*Diseño Y Metodología de la Investigación*



**Anexo 11.**  
*Evaluación del Comportamiento de un Motor Diésel.*





*Anexo 13.*  
*Análisis del desempeño de la potencia.*



**Anexo 14.**

*Disminución de la opacidad en las emisiones de gases.*



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE  
<http://dx.doi.org/10.14482/inde.38.1.621.4>

## **Disminución de la opacidad en las emisiones de gases contaminantes en motores de encendido por compresión mediante el uso de biodiésel B5 y B10 a base de algas (chlorella)**

Reduction of opacity in pollutant gas  
emissions in compression ignition engines by  
using biodiesel B5 and B10 based on algae

ROMMEL PAUL IMBAQUINGO NAVARRETE\*  
ANDRÉS FELIPE CEVALLOS GONZÁLEZ\*\*  
CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ\*\*\*

\*Universidad Técnica del Norte. Docente Investigador. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magister en Diseño Mecánico mención en Fabricación de Autopartes. Docente Investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Mioer). [rplmhaquingo@utn.edu.ec](mailto:rplmhaquingo@utn.edu.ec)

\*\*Universidad Técnica del Norte. Docente Investigador. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magister en Ingeniería Automotriz. Docente Investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Mioer). [afcevallos@utn.edu.ec](mailto:afcevallos@utn.edu.ec)

\*\*\* Universidad Técnica del Norte. Docente Investigador. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Magister en Energías Renovables. Docente Investigador en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra (Ecuador). Grupo de Investigación de Motores de Combustión Interna con Biocombustibles (Mioer). [cmmafla@utn.edu.ec](mailto:cmmafla@utn.edu.ec)

Correspondencia: Rommel Paul Imbaquingo Navarrete. Dirección: Av. 17 de Julio y Gral. José María Córdova. Teléfono: +593983314647.

*Anexo 15.*

*Norma Técnica Ecuatoriana-NTE INEN 2 207:2002*



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 207:2002  
(Primera Revisión)**

---

**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS  
AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES  
PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE  
DIESEL.**

**Primera Edición**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. EMISSIONS PERMITTED LEVELS PRODUCED BY  
DIESEL ROAD MOVABLE SOURCES.

First Edition

---

**DESCRIPTORES:** Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del aire, emisiones de escapes de transportes,  
requisitos.

MC 08.06-402  
CDU: 621.43.068.4  
CIRJ: 3530

**Anexo 16.**

*Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003*



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 349:2003**

---

**REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR. PROCEDIMIENTOS.**

**Primera Edición**

ROAD VEHICLES TECHNICAL INSPECTION . PROCEDURES.

First Edition

---

DESCRIPCIÓN: Vehículo automotor, ensayo, inspección.

MC 08.09-301

CDU: 629.119.725.382

CRU: 7191

ICS: 43.020

**Anexo 17.**

*Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202:2013*

Quito - Ecuador

---

**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**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AIR MOTOR VEHICLES. DETERMINATION OF OPACITY OF EXHAUST EMISSIONS OF  
DIESEL MOTORS BY STATIC TEST. METHOD OF FREE ACCELERATION

First edition

---

DESCRIPCIÓN: emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo  
MC: 08.06-301  
CUI: 662.75  
CII: 3530  
ICS: 13.040.50

**Anexo 18.**

**Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 14687**



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN-ISO 14687**

Primera edición  
2014-01

**HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE. ESPECIFICACIONES DE  
PRODUCTO (ISO 14687:1999, IDT)**

**HYDROGEN FUEL. PRODUCT SPECIFICATION (ISO 14687:1999, IDT)**

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional  
ISO 14687:1999+ ISO 14687:199/Cor.1:2001.

DESCRIPTORES: Hidrógeno, combustible, producto.  
ICS: 71.100.20

16  
Páginas

© ISO 1999 – Todos los derechos reservados  
© INEN 2014

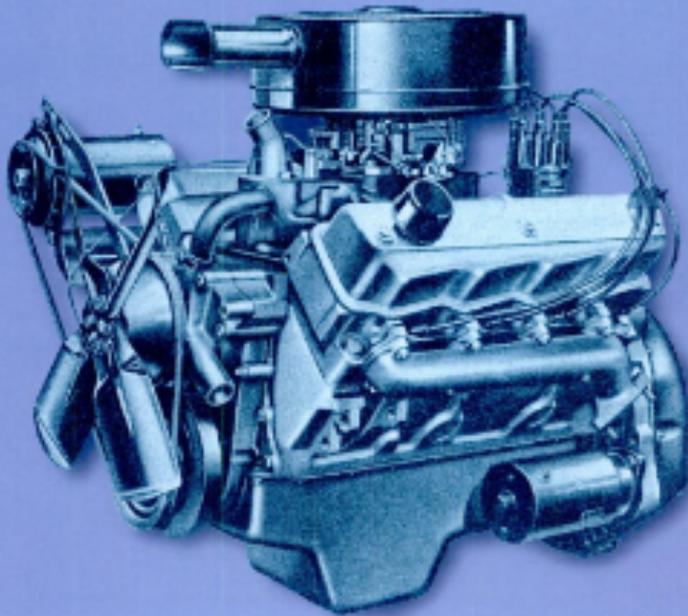
**Anexo 19.**

*Motores Diésel y de gas de alta compresión.*

# Motores Diesel y de gas de alta compresión

Edgar J. Kates / William E. Luck

segunda edición



*Editorial Reverté, S. A.*

Deposito legal: B-1000-1987

**Anexo 20**

*Diagnóstico de la combustión en motores Diésel.*



*Anexo 21*  
*Revisión del Uso del Hidrógeno.*



*Anexo 22*  
*Investigación de la Incidencia.*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1

**Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular**

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir y Gonzalez Heras, Josue Abraham

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

12 de agosto del 2022

Latacunga

**Anexo 23**

*Investigación del Diseño de un Reactor.*



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**TEMA**

**DISEÑO DE UN REACTOR Y DETERMINACIÓN DE LA  
CONCENTRACIÓN DE SALES, PARA GENERAR  
OXIHIDROGENO (HHO) MEDIANTE ELECTROLISIS DEL  
AGUA Y SU APLICACIÓN EN AUTOMOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA.**

**AUTORES:**

MARTINEZ OCHOA DENNIS LUIS  
CAMBA SALTOS JUAN ANTONIO †

**TUTOR:**

ING. ROBERTO VICENTE VALVERDE ARRIETA

GUAYAQUIL – ECUADOR

SEPTIEMBRE 2022

**Anexo 24**

*Afecciones respiratoria Científico Médico.*

Correo Científico Médico (CCM) 2020; 24(1)

Artículo Original

**Afecciones respiratorias y contaminación ambiental en Riobamba, Ecuador**

Respiratory conditions and environmental pollution in Riobamba, Ecuador

Dra. Izaida Lis Montero López\* <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6896-7942>

Dra. María Fernanda Vinuesa Veloz<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5835-511X>

Est. Gabriela Alejandra Castillo López <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5353-1161>

Est. Diego Stewart Ruano Ipiales <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5478-1469>

Dra. Nayela Martín Barceló <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5968-699X>

<sup>1</sup>Facultad de Salud Pública. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

\*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: [izalis2015@gmail.com](mailto:izalis2015@gmail.com)

Anexo 25  
Afecciones respiratoria Científico Médico.



**Anexo 26**

*Adaptación de un generador de Hidrógeno.*

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**"ADAPTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO TIPO CELDA  
SECA EN UN MOTOR ENDOTÉRMICO 150cc DE 4 TIEMPOS COMO  
FUENTE ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE"**

**AUTORES:**

JUAN NOÉ PESÁNTEZ MOROCHO  
JOSÉ VICENTE TACURI MOROCHO

**TUTOR:**

ING. FREDY GONZALO TACURI MOSCOSO

CUENCA - ECUADOR

2021

Tesis Doctoral  
Ingeniería Industrial



**Análisis de estrategias para la combustión dual  
gasóleo-hidrógeno orientadas a la reducción de  
emisiones: desarrollo teórico-experimental sobre  
motor diésel *common-rail* y aplicación en motores  
diésel lentos de dos tiempos**

Autor:

Javier Serrano Reyes

Director:

Francisco José Jiménez-Espadafor Aguilar

Prof. Dr. de la Universidad de Sevilla

Dpto. Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

*Anexo 28*  
*Multímetro Digital Profesional con RMS.*



*Anexo 29*  
*Hydrogen as a Combustion.*

2019-01-2258 Published 19 Dec 2019



## Hydrogen as a Combustion Enhancer for Highly Efficient Ultra-Lean Spark-Ignition Engines

**Jean-Marc Zaccardi and Guillaume Pilla** IFP Energies nouvelles, Institut Carnot IFPEN TE

**Citation:** Zaccardi, J.-M. and Pilla, G., "Hydrogen as a Combustion Enhancer for Highly Efficient Ultra-Lean Spark-Ignition Engines," *SAE Int. J. Advances & Curr. Prac. in Mobility* 2(1):401-414, 2020, doi:10.4271/2019-01-2258.

This article was presented at the 2019 JSAE/SAE Powertrains, Fuels and Lubricants, Kyoto, Japan, Aug. 26-29, 2019.

Anexo 30.  
Normativa ISO



← SCI ← 43 ← 43.180

## Norma ISO 11614:1999

Motores alternativos de combustión interna de encendido por compresión. Aparatos para medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción de luz de los gases de escape.

Este estándar fue revisado y confirmado por última vez en 2021. Por lo tanto, esta versión permanece actualizada.

### Abstracto Avance

Esta norma internacional especifica los requisitos generales y la instalación de aparatos para la medición de la opacidad y para la determinación del coeficiente de absorción de luz de los gases de escape de combustión interna motores (no limitados a los vehículos de carretera). Estos instrumentos se conocen como opacímetros.

### información general

Estado:  Publicado	Fecha de publicación: 1999-09
Edición: 1	Número de páginas: 57
Comité técnico: <a href="#">ISO/TC 70/SC 8</a> Medición de emisiones de gases de escape	
SCI: <a href="#">43.180</a> Equipos de diagnóstico, mantenimiento y prueba.   <a href="#">13.040.50</a> Emisiones de escape del transporte	

# Internal combustion engine efficiency enhancer by using hydrogen

I. Vinoth Kanna   A. Vasudevan & K. Subramani

Pages 237-240 | Received 24 Nov 2017, Accepted 15 Mar 2018, Accepted author version posted online: 02 Apr 2018,  
Published online: 13 Apr 2018

 Download citation

 <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1456961>

 Check for updates

Sample our  
Built Environment  
Journals  
» [Sign in here](#) to start your access  
to the latest two volumes for 14 days

 Full Article  Figures & data  References  Citations  Metrics  
 Reprints & Permissions  Read this article

## ABSTRACT

Most cars work by burning a liquid fuel with oxygen. Fuel is squirted into a chamber with air, it evaporates into a gaseous mixture, it lights, the burning gases expand, which in turn produces motive power. The car begins to move. The Problem is that becomes more expensive. With these rising costs of gasoline and diesel fuel, we decided to try using hydrogen as a means of alternative power for the car. With a hydrogen generator, the idea is to replace some of the gasoline with hydrogen. Gaseous hydrogen burns readily and produces loads of power. The idea is that the extra boost (not replacement) in gasoline power from the hydrogen would cause a gasoline-burning engine to back off on using so much gasoline. This in turn should

*Anexo 32.*  
*Evidencias Fotográficas*







