

Estudio del comportamiento de un vehículo monoplaza con el uso de hidrógeno como combustible suplementario

Study of the behavior of a single-seater vehicle with the use of hydrogen as supplementary fuel

- ¹ Juan Carlos Quinchuela Paucar  <https://orcid.org/0000-0002-4469-3035>
Maestría en Diseño Industrial y de Procesos, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).
juan.quinchuela@esPOCH.edu.ec
- ² Javier Milton Solís Santamaría  <https://orcid.org/0000-0002-9291-1906>
Maestría en Ingeniería Mecánica Mención Sistemas de Transporte, Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).
milton.solis@esPOCH.edu.ec
- ³ Gustavo Emanuel Martillo Jiménez  <https://orcid.org/0009-0004-1790-6949>
Ingeniero Automotriz, Investigador Independiente
emmanueldrac@gmail.com
- ⁴ Danny Alexander Cali Pillco  <https://orcid.org/0009-0008-2556-1636>
Ingeniero Automotriz, Investigador Independiente
Dannycali_96@hotmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 11/05/2023

Revisado: 27/06/2023

Aceptado: 10/07/2023

Publicado: 15/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.1.382>

Cítese:

Quinchuela Paucar, J. C., Solís Santamaría J. M., Martillo Jiménez, G. E., & Cali Pillco, D. A. (2023). Estudio del comportamiento de un vehículo monoplaza con el uso de hidrógeno como combustible suplementario. AlfaPublicaciones, 5(3.1), 6–31. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.1.382>



ALFA PUBLICACIONES, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

hidrógeno,
fluido, flujo
máscico,
rendimiento del
motor, consumo
de combustible,
emisión de
gases,
contaminación
ambiental.

Keywords:

hydrogen, fluid,
mass flow,
engine
performance,
fuel
consumption,
gases emission,
environmental
pollution.

Resumen

Introducción: La progresiva escasez de los combustibles fósiles debido a su alta demanda a nivel mundial, además de generar la mayor concentración de gases contaminantes que causan cambios climáticos y afectan a la salud de los seres humanos. **Objetivo:** el objetivo de este estudio es analizar la factibilidad de implementar un generador de hidrógeno gaseoso como combustible adicional en un motor de combustión interna de un vehículo monoplaza para demostrar si existe una mejora en el rendimiento del motor, consumo de combustible y reducción de emisiones de gases contaminantes. **Metodología:** La metodología del trabajo es realizar una campaña experimental para la ejecución de las pruebas de funcionamiento sobre los tres puntos a demostrar. **Resultados:** Como resultado de la implementación, en el primer ensayo se tiene una reducción 1,6 HP de potencia y 3,01 Nm de torque, no obstante, el segundo ensayo sobre el consumo de combustible muestra un ahorro del 14,13% y en el último ensayo se describe la concentración de los gases de escape, de igual forma en condiciones dinámicas se obtiene una reducción promedio de 0,73% de CO₂, 2,00 de CO, 510,10 PPM y un aumento de 1,67% de O₂. **Conclusión:** En comparación a lo que describen los fabricantes del generador de hidrógeno, se detalla que mejora la potencia del motor, reduce el consumo de combustible entre un rango de 20 a 40%, y así mismo describen que es capaz de reducir un 80% de los gases contaminantes, por esta razón, mediante este estudio se comprobó que aquellas especificaciones no son válidas. **Área de estudio general:** Ingeniería Automotriz. **Área de estudio específica:** Motores de combustión.

Abstract

Introduction: The progressive scarcity of fossil fuels because of his high demand worldwide, in addition to generate the highest concentration of polluting gases that cause climate change and affect the health of human beings. **Objective:** the objective of this research is to analyze the feasibility of implementing a gaseous hydrogen generator as additional fuel in an internal combustion engine of a single-seater vehicle to demonstrate if there is an improvement in engine performance, fuel consumption and reduction of polluting gas emissions. **Methodology:** The methodology of this research is to perform an experimental

campaign for the execution of functional tests on the three points to prove. **Results:** As a result of the implementation, in the first test there is a reduction of 1.6 HP of power and 3.01 Nm of torque, however, the second test about fuel consumption shows a saving of 14.13%, and in the last test describes the concentration of exhaust gases, similarly under dynamic conditions an average reduction is obtained of 0.73% CO₂, 2.00 CO, 510.10 PPM and an increase of 1.67% O₂. **Conclusion:** In comparison on the description of the manufacturers of the hydrogen generator, it is detailed that it improves engine power, reduces fuel consumption between a range of 20 to 40%, and likewise describe that can reduce 80% of polluting gases, for this reason, by means of this study those specifications were found to be invalid.

Introducción

Actualmente la demanda elevada del uso de combustibles derivados del petróleo es un problema, según Pesantes et al. (2021), los combustibles fósiles comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial y una de las principales fuentes de emisión de gases contaminantes.

Por esta razón, los fabricantes de vehículos automotores buscan alternativas ecológicas con el fin de generar una fuente de energía limpia y evitar la dependencia de los combustibles fósiles, la implementación del hidrógeno es una alternativa innovadora en el sector automotriz. El gas inerte de hidrógeno es un elemento muy abundante y ligero, ya que constituye aproximadamente las tres cuartas partes de la materia cósmica que se encuentra en el universo. Posee una gran cantidad de energía almacenada de 33.59 kWh/kg en unidad de masa, siendo superior que a los 13.9 kWh/kg del gas natural y 12.36 kWh/kg correspondiente a la gasolina (Prego, 2022).

La finalidad de esta investigación es implementar un generador de hidrógeno como combustible suplementario en un vehículo monoplace y el desarrollo de pruebas de funcionamiento para determinar el rendimiento del motor, consumo de combustible y análisis de gases de escape generados con el uso únicamente de gasolina y de una mezcla de hidrógeno gaseoso con gasolina.

Metodología

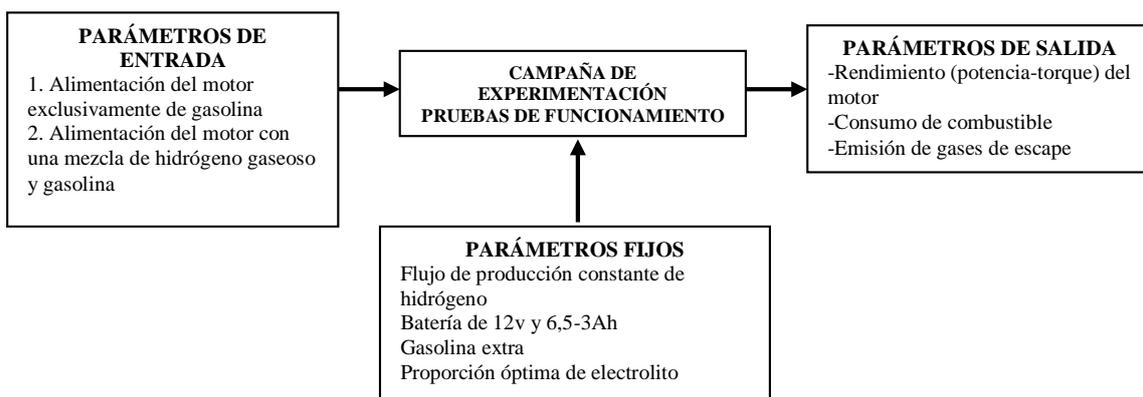
La investigación desarrollada es de tipo experimental ya que recolecta y analiza los datos de las pruebas de funcionamiento del vehículo con el uso de dos tipos de combustible, además se considera un enfoque cuantitativo ya que se manejan valores numéricos para cuantificar las variables expuestas y de esta manera realizar una comparación de los resultados obtenidos para cada ensayo.

En el procedimiento de comparar y describir el comportamiento del motor del vehículo bajo los diferentes ensayos de funcionamiento, se recurre a un diseño investigativo de carácter descriptivo con el objetivo de recopilar datos e información que permita cuantificar y medir las características de las variables consideradas. Con toda la información recolectada y haciendo uso de un método analítico se establecerán criterios de aceptación que corroboren la fiabilidad del estudio y permita desarrollar las conclusiones generales del presente estudio.

La campaña de experimentación toma en consideración el esquema (figura 1), donde se detalla los parámetros de entrada, salida y fijos empleados en las tres pruebas de funcionamiento. Los parámetros de entrada permiten evaluar el objeto de estudio en las dos condiciones de funcionamiento, referentes al tipo de sistema de alimentación del vehículo monoplaça, cada parámetro de entrada influirá de forma independiente a los parámetros de salida, es decir, la evaluación consta de forma independiente para los dos tipos de sistemas de alimentación

Figura 1

Esquema representativo para realizar las pruebas de funcionamiento



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Adaptación del generador de hidrógeno al vehículo monoplaça

La primera parte consiste en la instalación del generador de hidrógeno al sistema eléctrico del vehículo, la conexión consta de un switch ON/OFF, con el objetivo de suministrar

hidrógeno solo cuando el vehículo entre en funcionamiento evitando desperdiciar el gas, dicha conexión se la realizo mediante un empalme del cable positivo de un accionador, el cual activa el halógeno o faro del freno de la llanta posterior del vehículo

Luego de realizar la instalación eléctrica, se procede a realizar una perforación de ¼ de pulgada en el tubo del múltiple de admisión para insertar la manguera por donde fluye el hidrógeno gaseoso y se sella los bordes de manguera mediante soldadura fría de la marca ABRO como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Instalación de la conexión del generador de hidrógeno en el múltiple de admisión



Fuente: Cali & Martillo (2023)

El generador de hidrógeno es ajustado en el chasis de la motocicleta en la parte frontal de los anclajes del motor, mostrado en la figura3, se utilizan dos abrazaderas metálicas de un tamaño ajustable de dos a tres pulgadas. Se debe suministrar un óptimo electrolito, que es una mezcla de agua y bicarbonato de sodio, el generador de hidrógeno tiene una capacidad recomendada de 2,40 gramos de bicarbonato de sodio disueltos en 120 mililitros de agua, cuya capacidad fue calculada mediante una probeta graduada, es decir, que debe de cubrir todo el medidor del generador, que es una manguera transparente de 3/16 de pulgada (Baltazar, 2020).

Figura 3*Ubicación del generador de hidrógeno***Fuente:** Cali & Martillo (2023)

El instrumento usado para medir la velocidad de producción de hidrógeno es el testo 340, indicado en la figura 4, el cual es una herramienta de medición portátil para el análisis profesional de gases producto de la combustión en los siguientes campos de estudio.

Figura 4

Analizador de gases, testo 340

**Fuente:** Cali & Martillo (2023)

En la figura 5 se indica las mediciones realizadas para obtener un promedio de la velocidad del fluido, para lo cual se acerca el tubo Pitot a la salida de la manguera de generador de hidrógeno (S&P, 2020). Además, se mide la presión del flujo de producción en milibares (mbar), este parámetro se utilizará posteriormente para calcular la densidad del gas.

Figura 5

Proceso de medición de velocidad, presión, temperatura y porcentaje de oxígeno



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Para hallar el área de la manguera se utiliza la siguiente formula:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (1)$$

Donde:

- A: área de la manguera (m^2)
- D: diámetro de la manguera (m)

De acuerdo con la ley de gases ideales, se despeja el parámetro de la densidad, dicho proceso se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} P * V &= n * R * T \\ P * V &= \frac{m}{M} * R * T \\ P * M &= \frac{m}{V} * R * T \\ \frac{P * M}{R * T} &= \frac{m}{V} \\ d &= \frac{P * M}{R * T} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

- d: densidad de un gas (g/l o kg/m^3)
- P: presión (atm)
- M: masa molar (g/mol)
- R: constante de los gases ($0,0821 \frac{atm * l}{K * mol}$)

- T: temperatura (K)

Finalmente, con los parámetros de la velocidad del fluido, área de tubo y densidad del gas, se utiliza la siguiente fórmula para calcular el flujo másico de producción del generador de hidrógeno:

$$m_f = d * A * v \quad (3)$$

Donde:

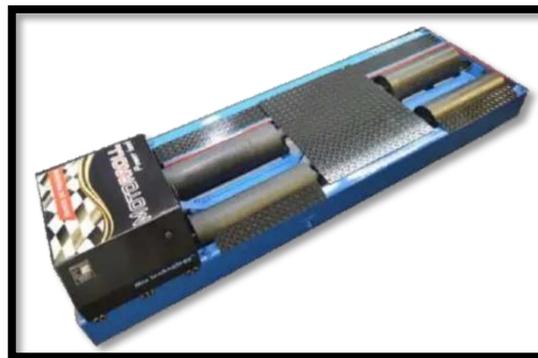
- m_f : flujo masico (kg/s)
- d : densidad de un gas (kg/m^3)
- A : área del tubo de salida del fluido (m^2)
- v : velocidad del fluido (m/s)

Prueba de funcionamiento para valorar el rendimiento del motor

Se evalúa con alimentación exclusivamente de gasolina y con una mezcla de hidrógeno gaseoso – gasolina, para ello se emplea un banco de rodillos mixto de la marca Motorroll modelo Dino 970 IH, mostrado en la figura 6. El banco de pruebas mixto posee un software que realiza la suma inercial sumada la dinamométrica en tiempo real (Selles, 2021).

Figura 6

Banco de rodillos mixtos de la marca Motorroll



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Para poder conectar el banco de pruebas de rodillos con la computadora y visualizar el comportamiento del motor a través de curvas de potencia y torque se necesita de un amplificador de celdas, obsérvese la figura 7. Los gráficos de las curvas de potencia y torque obtenidos son simultáneos sin ningún tipo de retraso mientras el vehículo acelera.

Figura 7

Amplificador de celdas del dinamómetro de rodillos



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Luego de sujetar la motocicleta al banco de pruebas, se siguen las instrucciones de funcionamiento para el ensayo, donde el vehículo debe ser acelerado paulatinamente hasta llegar a la tercera marcha para posteriormente acelerar al máximo, se recomienda hasta dicha marcha debido a la relación de transmisión 1:1 (Abel, 2021).

Además, se debe verificar las revoluciones y potencia máxima a las que se debe someter el vehículo, según el fabricante en la ficha técnica, presentada en la tabla 1, detalla la potencia máxima del vehículo, dicho valor es 12 caballos de fuerza (HP) a 7.000 revoluciones por minuto a una velocidad máxima de 90 kilómetros por hora.

Tabla 1

Ficha técnica de la motocicleta

Parámetro	Detalle
Modelo	Bronco 150 DX
Categoría	Sporty
Códigos	TD150-AAVL-C TD150-AAQL-C TD150-AAEL-C
Nombre del producto	Moto Tundra Bronco DX 150 CC
Motor	4 tiempos
Tipo de motor	Palillo (OHV)
Enfriamiento	Por aire
Cilindrada	150 cc
N.º de cilindros	1
Potencia	12 HP / 7.000 RPM
Máxima velocidad	90 km/h
Sistema de transmisión	Mecánica – 5 velocidades
Embrague	Húmedo, discos múltiples
Batería	12V – (3-5,5A)
Peso Moto (kilogramos)	115kg
Carga máxima (kilogramos)	150kg

Tabla 1

Ficha técnica de la motocicleta (continuación)

Parámetro	Detalle
Capacidad del tanque (litros)	13,5l
Rendimiento Aceite	150 km x galón 20W50

Fuente: Total Home (2021)

Mediante el software de Motorroll se obtienen las curvas de potencia y par del motor, considerando el aumento progresivo de las revoluciones por minuto sin excederse de la capacidad de 7.000 RPM como se indica en la figura 8.

Figura 8

Proceso para evaluar el rendimiento del motor mediante un dinamómetro de rodillos y software de la marca Motorroll



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Prueba de funcionamiento para evaluar el consumo de combustible

El ensayo se basa en ejecutar un ciclo de conducción realizado por Calva & Flores (2020), en la ciudad de Riobamba mediante un reservorio de combustible con una escala graduada en mililitros.

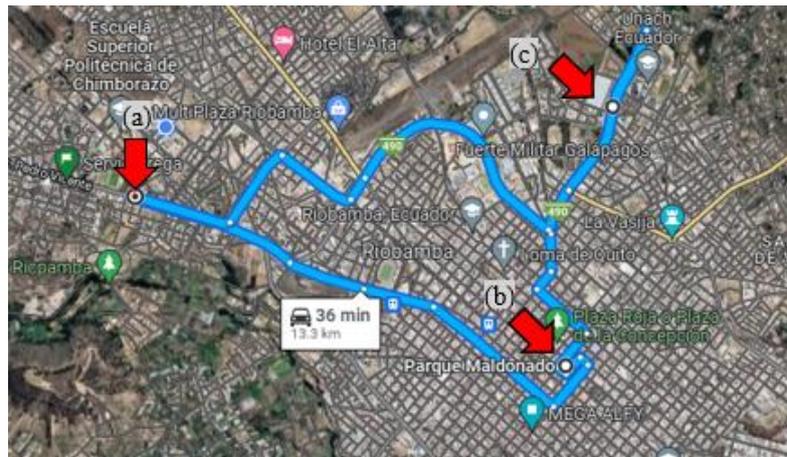
Para este ensayo se tomó en cuenta tres puntos principales que son descritos y seleccionados en el trabajo de investigación de Calva & Flores (2020), con 13, 30 kilómetros del trayecto mostrado en la Figura 9, que comprenden:

- Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (a)

- Parque Maldonado (b)
- Paseo Shopping (c)

Figura 9

Ciclo de conducción en la ciudad de Riobamba



Fuente: Google (2023)

El rendimiento del vehículo se calcula mediante la diferencia del volumen de combustible en el reservorio antes y después del ensayo. Para medir con precisión el consumo de combustible se usó una probeta graduada que parte de 2,5 mililitros y hasta los 25 mililitros como se observa en la Figura 10.

Figura 10

Instrumentos de medición para evaluar el consumo de combustible



Fuente: Cali & Martillo (2023)

La prueba de consumo de combustible se ha desarrollado en un ciclo de conducción urbano en la Ciudad de Riobamba en horas pico o de mayor tráfico a una altitud de aproximadamente 2750 metros sobre el nivel del mar. Además, se debe tener a consideración los siguientes parámetros: distancia, velocidad y tiempo, a esto se añade la inclinación de la carretera, las paradas y el tráfico vehicular.

Prueba de funcionamiento para examinar la emisión de gases de escape

El equipo para utilizar es un analizador de gases portátil Auto Plus de la marca Kane mostrado en la figura 11, el cual mide la proporción en porcentajes de los compuestos químicos que son expulsados por el motor de combustión interna. El instrumento posee una pantalla monocromática y de fácil conexión a otros dispositivos, tiene un diseño compacto y control de la velocidad de la bomba que reduce el consumo de la batería.

Figura 11

Analizador de gases auto plus de la marca Kane



Fuente: Cali & Martillo (2023)

En el Ecuador los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles que emplean gasolina están reguladas por la norma INEN 2204, en ella se consideran las condiciones para el desarrollo de pruebas estáticas y dinámicas (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2017), por ello es importante controlar las revoluciones por minuto del motor y para este fin se emplea un analizador de encendido y tacómetro digital de la marca General Technologies Corp. modelo TA100 SmarTach+ mostrado en la figura 12 (General Technologies Corp. [GTC], 2021).

Figura 12

Analizador de encendido y tacómetro digital GTC TA100 SmarTach+



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Una vez realizada la calibración del equipo analizador de gases según su manual de funcionamiento y desarrollada la configuración de la bomba, unidades de parámetros combustible - vehículo, lambda de la sonda, entre otros (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE], 2022), se ejecutan las mediciones de gases emitidos por el motor bajo la alimentación completamente a gasolina y la mezcla hidrógeno gaseoso – combustible considerando parámetros de movilidad estática y dinámica, procedimiento presentado en la figura 13 (León, 2019).

Figura 133

Conexión de la sonda en el tubo de escape



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Discusión

Los resultados se basan en una comparación entre el comportamiento del vehículo antes y después de la implementación del generador de hidrógeno.

Adaptación del generador de hidrógeno

Para determinar el volumen de hidrógeno en forma gaseosa que ingresa al múltiple de admisión se realiza un promedio de la velocidad de salida de este fluido mediante un testo cuyos valores se resumen en la tabla 2, dicho parámetro en conjunto con la temperatura y presión del flujo de producción son indispensables para hallar el flujo másico del generador de hidrógeno mostrado en la tabla 3 (Suárez, 2018).

Tabla 2

Mediciones de velocidad del flujo de hidrógeno

Medición	Velocidad (ft/min)
1	302,30
2	302,30
3	302,20
4	302,20
5	302,20
6	302,20
7	302,30
8	302,30
9	302,30
10	302,10
Promedio	302,24 (1,5354 m/s)

Fuente: Cali & Martillo (2023)

La manguera utilizada para transportar el hidrógeno hasta el múltiple de admisión es de ¼ de pulgada (6,3 milímetros) con diámetro interno de 4,1 milímetros (0,0041 metros) el área se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0,0041m)^2}{4}$$

$$A = 1,3202 * 10^{-5} m^2$$

Tabla 3

Temperatura promedio del flujo másico de producción del generador de hidrógeno

Medición	Temperatura (°C)
1	22,6
2	22,6
3	22,5
4	22,4
5	22,4
6	22,5
7	22,4
8	22,5
9	22,6
10	22,5
Promedio	22,5 °C (296 K)

Fuente: Cali & Martillo (2023)

Los valores de entrada para calcular la densidad de un gas son: presión ($9,869 * 10^{-6} atm$), masa molar del gas deseado (H_2 : $2,014 \frac{g}{mol}$, O_2 : $31,999 \frac{g}{mol}$), constante de los gases ($0,0821 \frac{atm * l}{K * mol}$) y temperatura ($296 K$)

Mediante la siguiente ecuación se calcula la densidad del fluido hidrógeno:

$$d = \frac{P * M(H_2)}{R * T}$$

$$d = \frac{(9,869 * 10^{-6} atm) * (2,014 \frac{g}{mol})}{(0,0821 \frac{atm * l}{K * mol}) * (22,5 K)}$$

$$d = 8,179 * 10^{-7} \frac{g}{l} \text{ o } \frac{kg}{m^3}$$

De la misma forma se calcula la densidad del fluido oxígeno:

$$d = \frac{P * M(O_2)}{R * T}$$

$$d = \frac{(9,869 * 10^{-6} atm) * (31,999 \frac{g}{mol})}{(0,0821 \frac{atm * l}{K * mol}) * (22,5 K)}$$

$$d = 1,299 * 10^{-5} \frac{g}{l} \text{ o } \frac{kg}{m^3}$$

Teniendo en cuenta el valor porcentual 20,80% de oxígeno y 79,20% de hidrógeno se calcula el flujo masico del hidrógeno:

$$m_f = d(H_2) * A * v$$

$$m_f = (8,179 * 10^{-7} \frac{kg}{m^3}) * (1,3202 * 10^{-5} m^2) * (1,5354 m/s)$$

$$m_f = 1,658 * 10^{-11} \frac{kg}{s} * (0,792)$$

$$m_f = 1,313 * 10^{-11} \frac{kg}{s}$$

De tal forma se obtiene el flujo masico del oxígeno:

$$m_f = d(O_2) * A * v$$

$$m_f = (1,299 * 10^{-5} \frac{kg}{m^3}) * (1,3202 * 10^{-5} m^2) * (1,5354 m/s)$$

$$m_f = 2,634 * 10^{-10} \frac{kg}{s} * (0,208)$$

$$m_f = 5,479 * 10^{-11} \frac{kg}{s}$$

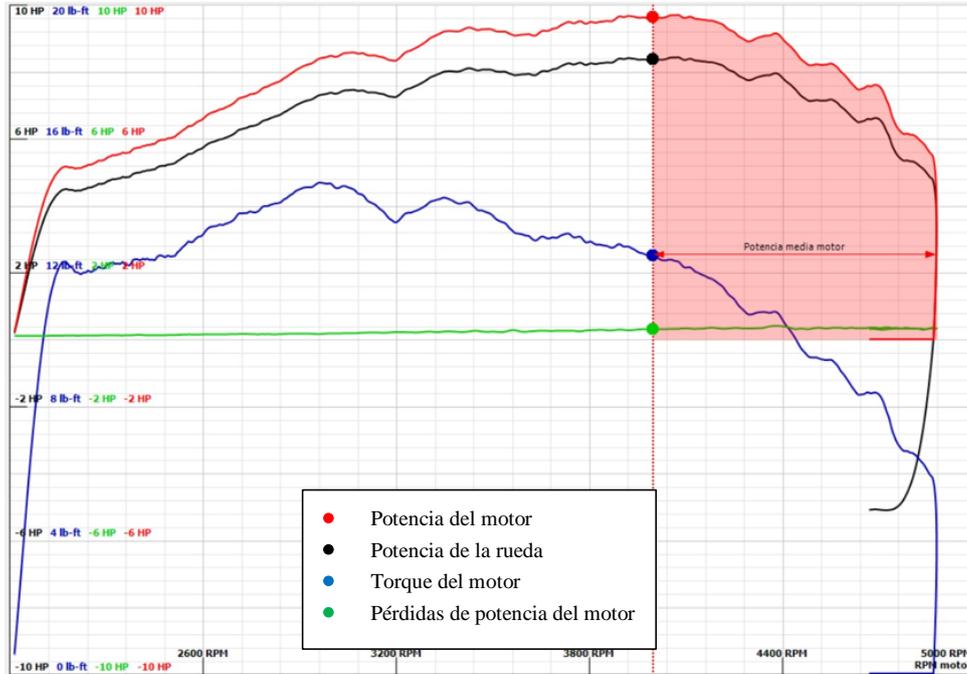
Al sumar estos dos valores se estima el flujo másico de la mezcla, el cual es de $6,792 * 10^{-11} kg/s$, esta cantidad de flujo entra por el múltiple de admisión.

Rendimiento del motor

La figura 14 ha sido generada por el software Motorroll, en ella se puede observar las curvas de potencia y torque del vehículo alimentado con gasolina.

Figura 14

Curvas de potencia y torque del vehículo alimentado con gasolina



Fuente: Cali & Martillo (2023)

En la figura 15 se muestran los valores más relevantes de la prueba generados por el mismo software.

Figura 15

Datos relevantes de la prueba con alimentación de gasolina

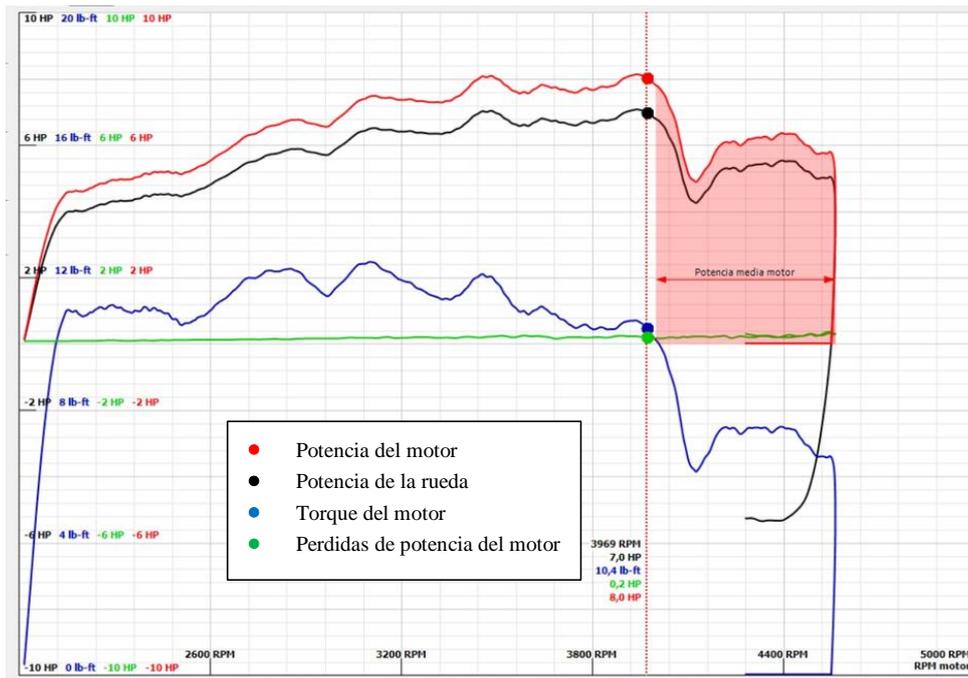
Potencia máxima motor:	9,7 HP (4076 RPM)
Potencia máxima rueda:	8,4 HP (4076 RPM)
Potencia media pérdida:	-1,3 HP
Potencia media motor:	7,7 HP (4000 RPM - 5500 RPM)
Torque máximo motor:	14,69 lb-ft (2963 RPM)
Tiempo de aceleración:	19,61 seg
Tiempo total de tirada:	21,55 seg
Método de medición:	Inercial + freno

Fuente: Cali & Martillo (2023)

Los resultados para la prueba de potencia y torque del vehículo alimentado con una mezcla hidrógeno gaseoso – gasolina se muestran en la figura 16.

Figura 16

Curvas de potencia y torque del vehículo alimentado con una mezcla de hidrógeno gaseoso y gasolina



Fuente: Cali & Martillo (2023)

Los valores más relevantes de esta prueba se muestran en la figura 17.

Figura 17

Datos relevantes de la prueba con alimentación de una mezcla de hidrógeno gaseoso y gasolina

Potencia máxima motor:	8,1 HP (3941 RPM)
Potencia máxima rueda:	7,1 HP (3941 RPM)
Potencia media pérdida:	-1,3 HP
Potencia media motor:	5,8 HP (4000 RPM - 5500 RPM)
Torque máximo motor:	12,47 lb-ft (3103 RPM)
Tiempo de aceleración:	20,14 seg
Tiempo total de tirada:	22,40 seg
Método de medición:	Inercial + freno

Fuente: Cali & Martillo (2023)

Comparando los resultados obtenidos se evidencia una reducción de la potencia del motor y de la rueda, la cual es de 1,60 HP y 1,30 HP respectivamente. Además, existe una reducción significativa del torque del motor, la cual es de 3,01 Nm, considerando que el vehículo monoplaza es una motocicleta, perder más de 1 HP de potencia y 3 Nm de torque es muy perjudicial, a razón del bajo cilindraje (150 centímetros cúbicos) y el número de cilindros (mono cilindro) del vehículo sometido en este estudio.

Consumo de combustible

Los resultados para el consumo de combustible se muestran en la tabla 4, para una alimentación completamente de gasolina se obtiene un valor del 83,21%, en cambio el suministro de la mezcla hidrógeno gaseoso- combustible, donde se tiene 69,08% de consumo, por lo tanto, el ahorro es del 14,13%.

Tabla 4

Porcentaje del consumo de combustible

N.º de pruebas	Consumo alimentación gasolina	Consumo alimentación hidrógeno gaseoso- gasolina
1	83,75	70,12
2	82,65	67,84
3	83,41	68,52
4	84,2	68,74
5	82,54	69,89
6	83,15	68,23
7	82,35	68,46
8	82,54	69,78
9	83,8	70,35
10	83,68	68,88
Promedio	83,21	69,08

Fuente: Cali & Martillo (2023)

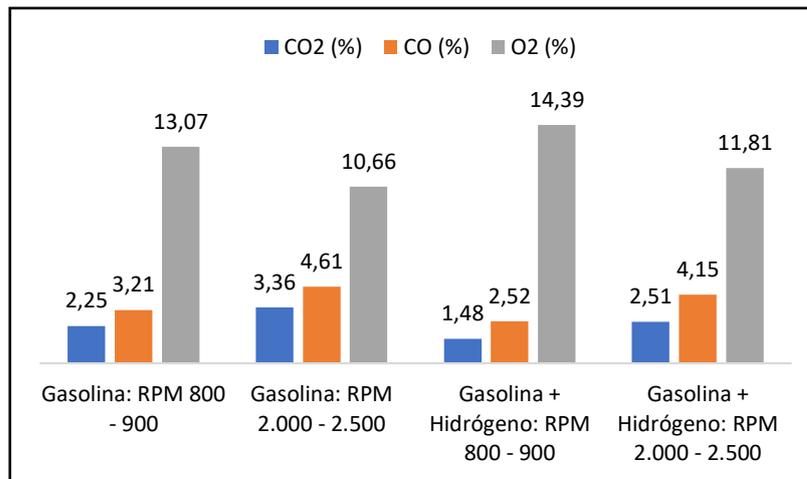
Mediante las pruebas de consumo de combustible antes y después de la implementación del generador de hidrógeno, se obtiene un rendimiento de 75,63 y 91,10 kilómetros por galón respectivamente, por lo tanto, al implementar un generador de hidrógeno se obtiene un incremento del rendimiento de 15,47 kilómetros por galón. Al realizar una comparación sobre el ahorro del consumo de combustible en otras investigaciones, el trabajo de investigación de Borja et al. (2014), obtienen un ahorro de combustible del 11% en un vehículo FIAT Fiorino, el cual es un valor cercano al ahorro desarrollado en la presente investigación.

Concentración de gases de escape

La figura 18 muestra el análisis de gases generados por la motocicleta durante la prueba estática a distintas revoluciones (INEN, 2017).

Figura 18

Porcentajes promedios de las concentraciones de gases emitidos en pruebas estáticas



Fuente: Cali & Martillo (2023)

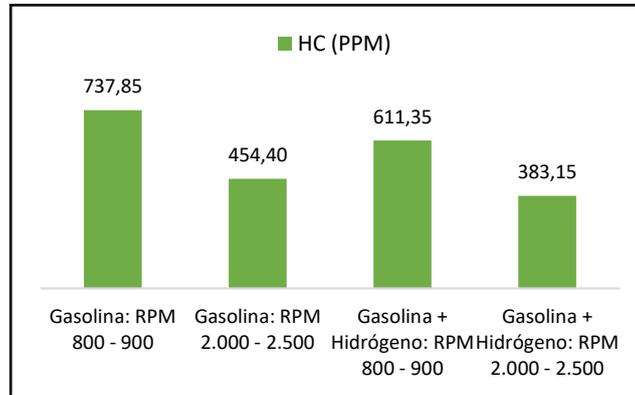
Se compara el promedio de las concentraciones porcentuales del CO₂, CO y O₂ y se determina que existe una reducción de dichos gases cuando se emplea hidrógeno gaseoso – gasolina como combustible:

- CO₂: 0,77% (800 a 900 RPM) y 0,85% (2.000 a 2.500 RPM).
- CO: 0,68% (800 a 900 RPM) y 0,47% (2.000 a 2.500 RPM).
- O₂: a excepción de este gas que aumenta 1,32% (800 a 900 RPM) y 0,47% (2.000 a 2.500 RPM).

La figura 19 muestra la concentración de hidrocarburos no quemados en valores de PPM, se evidencia una reducción de 126,50 PPM en un rango de 800 a 900 RPM y 71,25 PPM entre un rango de 2.000 a 2.500 RPM.

Figura 19

Porcentajes promedios de las concentraciones de gases emitidos en pruebas estáticas



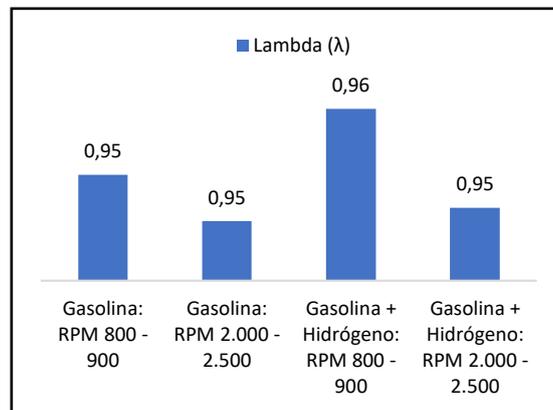
Nota: Concentración de hidrocarburos (PPM) en pruebas estáticas

Fuente: Cali & Martillo (2023)

Con respecto al factor Lambda para las pruebas estáticas se encuentra entre 0,95 y 0,96 como se observa en la figura 20.

Figura 20

Factor lambda promedio en pruebas estáticas

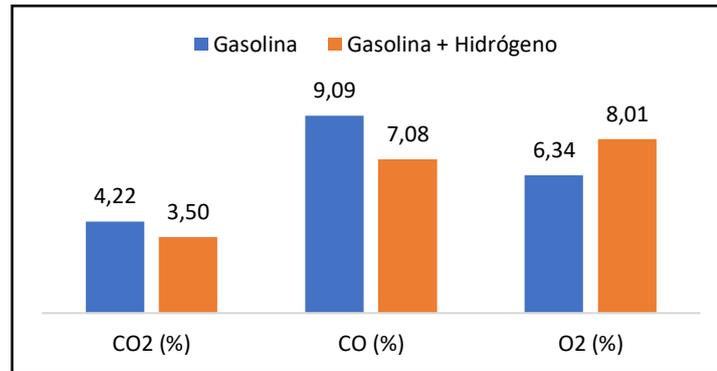


Fuente: Cali & Martillo (2023)

La figura 21 reúne los resultados de la emisión de gases para las pruebas dinámicas se identifica una reducción de 0,73% de CO₂, 2% de CO y un aumento de 1,67% de O₂.

Figura 21

Porcentajes promedios de las concentraciones de gases emitidos en pruebas dinámicas



Nota: Concentración de gases (%) en pruebas dinámicas

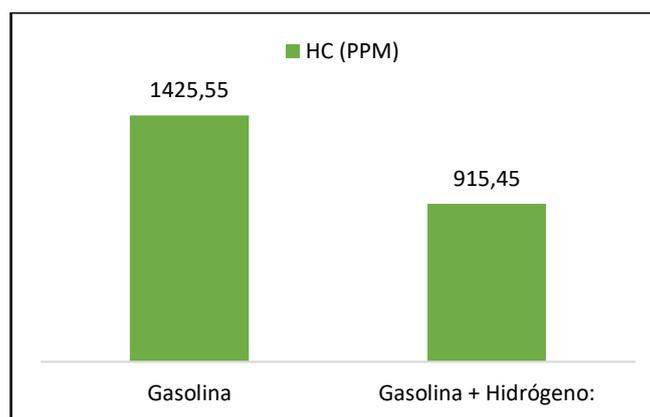
Fuente: Cali & Martillo (2023)

La presencia de hidrocarburos no quemados en la prueba dinámica se resume en la figura 22, hallando una reducción de 510,1 PPM para las condiciones analizadas.

En cuanto al factor Lambda promedio en las pruebas dinámicas con alimentación completamente de gasolina es de 1,03 y con la mezcla hidrógeno gaseoso- combustible es de 0,95.

Figura 22

Promedio de partes por millón de hidrocarburos no quemados en pruebas dinámicas



Nota: Concentración de hidrocarburos (PPM) en pruebas dinámicas

Fuente: Cali & Martillo (2023)

Según Baltazar (2020), en los ensayos de las emisiones de gases de escape realizados en su proyecto, explica que mediante un analizador de gases JEVOL obtuvo una reducción de 11% de HC en comparación con el uso de únicamente con gasolina. En la presente

investigación se obtuvo un promedio aproximadamente de 16% de reducción de HC en las pruebas estáticas, no obstante, aquella reducción aumenta cerca del 36% de HC en pruebas dinámicas; se debe a que el hidrógeno gaseoso permite una combustión más completa evitando la expulsión de restos particulados no quemados (Menaca & Bedoya 2022).

Mediante un balance estequiométrico para cada tipo de alimentación se obtiene:

- **Masa fluido aire-hidrógeno real** = $523,89 \text{ O}_2 + 1.723,61 \text{ N}_2 = 2.247,51 \text{ Kg}$.
- **Fluido Aire-hidrógeno combustible** = 19,71 Kg de aire por cada Kg de combustible y 4,25 Kg de hidrógeno por un Kg de combustible.

Conclusiones

- El consumo de combustible determinado a partir del ciclo de conducción generó un ahorro del 14,13% al usar la mezcla hidrógeno gaseoso – gasolina. El rendimiento obtenido al usar gasolina fue de 75.63km/gal, sin embargo, la ficha técnica de la motocicleta indica un rendimiento de 150km/gal, esta diferencia se justifica debido al tiempo de uso que tiene el vehículo pues es del año 2017.
- En condiciones dinámicas el promedio de gases emitidos en el ciclo de conducción presenta una disminución del 0,73% de CO₂, 2% de CO, 510,10 PPM y un aumento de 1,67% de O₂, al emplear una mezcla de hidrógeno gaseoso con gasolina se presenta un factor lambda de 0,95 lo que representa una mezcla rica, en comparación al uso únicamente de gasolina con un factor lambda de 1,03 indicando una mezcla pobre lo que es perjudicial para la eficiencia del vehículo y la afectación ambiental.
- La implementación del generador de hidrógeno reduce significativamente la potencia y torque del vehículo considerando su cilindraje, sin embargo, por otro lado, reduce levemente el consumo de combustible y emisión de gases contaminantes, lo cual sin duda es beneficioso para la seguridad del medio ambiente y la salud de las personas.
- El fabricante del equipo generador de hidrógeno gaseoso afirma que este sistema es capaz de mejorar la potencia del motor, reducir el consumo de combustible entre un rango de 20% a 40% y así mismo disminuir un 80% de los gases contaminantes generados producto de la combustión, por esta razón, mediante este estudio se confirmó que aquellas descripciones no son válidas.

Referencias Bibliográficas

- Abel, F. (2021). *Pruebas de Dinamómetro*. Scrib.
<https://es.scribd.com/document/535596111/PRUEBAS-DE-DINAMOMETRO>

- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE]. (2022). *Ventas históricas de vehículos*. <https://www.aeade.net/>
- Baltazar, P. (2020). *Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8444/3/IV_FIN_111_TE_Baltazar_Ortega_2020.pdf
- Borja, W., Borja, A., & Castro, D. (2014). *Potenciación de un motor a gasolina por medio de un generador de hidrógeno*. [Tesis de pregrado Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio digital USFQ. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2561>
- Calva, R., & Flores, A. (2020). *Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD II*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSapace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13823>
- General Technologies Corp. [GTC]. (2021). *TA100 Smartach+: Wireless Ignition Analyzer and tachometer*. <https://gtc.ca/product/ta100-smartach-wireless-ignition-analyzer-and-tachometer/>
- Google. (2023, enero 05). Ruta del ciclo de conducción. <https://www.google.com/maps/dir/Cajero+Autom%C3%A1tico+Bancomatico,+88QF%2BG38,+Riobamba/Parque+Maldonado/-1.655084,-78.6451299/-1.6611864,78.6773394/@1.6638969,78.7312753,12z/data=!3m1!4b1!4m18!4m17!1m5!1m1!1s0x91d307eae771e4d1:0xa0d9bf243192d6ae!2m2!1d-78.6772957!2d-1.6612002!1m5!1m1!1s0x91d3a82f9debccfb:0xf35a2c3d1ddb78f0!2m2!1d-78.6482957!2d-1.6727123!1m1!4e1!1m1!4e1!3e9>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2017). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean. Gasolina* https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf
- León, J. (2019). *Implementación de un sistema generador de hidrógeno en un motor carburado*. [Tesis de pregrado Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio digital USFQ <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8319>

- Menaca, R., & Bedoya, I. (2022). Una revisión del uso de 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/10.18273/revuin.v21n3-2022004>
- Pesantes, V., Ortega, C., Rubio, J., & Reyes, G. (2021). Análisis de las normativas locales e internacionales en control de emisiones contaminantes en el DMQ. *Dominio de las Ciencias*, 7 (5), 971-992
<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2293>
- Prego, C. (2022). *Toyota y Yamaha están desarrollando un motor V8 de hidrógeno. Su objetivo: salvar la combustión interna*. Xataka.
<https://www.xataka.com/vehiculos/toyota-yamaha-estan-desarrollando-motor-v8-hidrogeno-su-objetivo-salvar-combustion-interna>
- S&P. (2020). *Velocidad del aire*. <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>
- Selles, M. (2021). *Bancos de Prueba Motorroll*, Scribd.
<https://es.scribd.com/document/493178560/Bancos-de-Prueba-Motorroll>
- Suárez, W. (2018). *Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para los motores Kia, en el 3ero de bachillerato de la institución educativa particular "LATINOAMERICANO" en el sector de Lumbisi, año lectivo 2017-2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. DSpace UCE.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17319>
- Total Home. (2021). *Moto Tundra TD 150-AA Bronco*.
<https://totalhome.ec/shop/motos/moto-tundra-td150-aa-bronco-deluxe-negro/>

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

