



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“EVALUACIÓN DEL TORQUE, POTENCIA Y CONSUMO DE
COMBUSTIBLE CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA
DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO 1.6 LT A GASOLINA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JONATHAN MANUEL CHONATA SARABIA

HENRY DAMIAN OCAÑA TISALEMA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“EVALUACIÓN DEL TORQUE, POTENCIA Y CONSUMO DE
COMBUSTIBLE CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA
DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO 1.6 LT A GASOLINA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JONATHAN MANUEL CHONATA SARABIA

HENRY DAMIAN OCAÑA TISALEMA

DIRECTOR: ING. EDGAR FABIÁN SÁNCHEZ CARRIÓN

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jonathan Manuel Chonata Sarabia & Henry Damián Ocaña Tisalema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Jonathan Manuel Chonata Sarabia y Henry Damián Ocaña Tisalema, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 6 de diciembre de 2023.




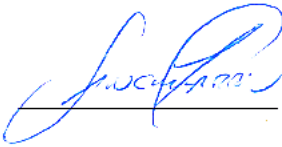
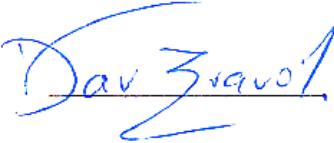
Jonathan Manuel Chonata Sarabia
180456793-9



Henry Damián Ocaña Tisalema
180509920-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL TORQUE, POTENCIA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO 1.6 LT A GASOLINA**, realizado por los señores: **JONATHAN MANUEL CHONATA SARABIA & HENRY DAMIAN OCAÑA TISALEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-06
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06
Ing. Víctor David Bravo Morocho ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-06

DEDICATORIA

A mi madre y mi abuelita por ser el apoyo incondicional en toda mi vida, por creer y confiar en mi para llegar a cumplir este anhelado sueño, a mis hermanos porque con sus consejos y muestras de afecto me forjaron como una persona capaz de vencer las adversidades y lograr mis objetivos profesionales.

Jonathan

A Dios por darme la sabiduría para alcanzar a cumplir mi sueño, a mis padres Juan y Magdalena quienes con su amor y apoyo incondicional me han ayudado a crecer como profesional y persona, a mis hermanos Anderson y Aracelly que me han permitido ser su ejemplo de vida, a Estefanía por nunca dejar de creer y confiar en mí.

Henry

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud, sabiduría y constancia para poder cumplir mis metas y sueños, a toda mi familia y amigos por ser un pilar fundamental en mi vida ya que han estado presentes durante estos años de estudio. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la carrera de Ingeniería Automotriz y a sus docentes por compartir sus conocimientos y experiencia de esta hermosa profesión.

Jonathan

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz que gracias a sus conocimientos impartidos pude crecer en el ámbito estudiantil y profesional. Al taller SF Motors Tecnología Automotriz y a todos sus colaboradores que nunca dejaron de confiar en las habilidades de un estudiante. A todas las personas y compañeros de estudio quienes creyeron en mí y junto a su apoyo logre alcanzar una meta más.

Henry

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.3	Problema General de la Investigación.....	3
1.4	Problemas Específicos de la Investigación.....	3
1.5	Objetivos.....	3
1.5.1	<i>Objetivo General</i>	3
1.5.2	<i>Objetivos Específicos</i>	3
1.6	Justificación.....	4
1.6.1	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2	<i>Justificación Metodológica</i>	4
1.6.3	<i>Justificación Practica</i>	4
1.7	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2	Referencias Teóricas.....	7
2.2.1	<i>Norma SAE J1321:2012</i>	7
2.2.2	<i>Torque del motor de combustión interna</i>	8
2.2.3	<i>Potencia del motor de combustión interna</i>	8
2.2.4	<i>Métodos para la obtención del torque y potencia de un motor de combustión</i>	9
2.2.4.1	<i>Método de freno hidráulico</i>	9
2.2.4.2	<i>Método directo por frenos de fricción</i>	10

2.2.4.3	<i>Método de freno eléctrico</i>	10
2.2.4.4	<i>Método indirecto de aceleración libre</i>	11
2.2.4.5	<i>Método por dinamómetro de chasis</i>	12
2.2.5	<i>El Hidrógeno</i>	13
2.2.5.1	<i>El hidrógeno como combustible</i>	14
2.2.5.2	<i>Ventajas del hidrógeno como combustible</i>	14
2.2.6	<i>Generación de hidrógeno</i>	14
2.2.6.1	<i>Termólisis</i>	14
2.2.6.2	<i>Electrólisis</i>	14
2.2.7	<i>Electrolito</i>	15
2.2.8	<i>Celda de hidrógeno</i>	15
2.2.8.1	<i>Celdas electrolíticas</i>	16
2.2.8.1.1.	<i>Celdas húmedas de hidrógeno</i>	16
2.2.8.1.2	<i>Celdas secas de hidrógeno</i>	18
2.2.9	<i>El Sensor MAP (Sensor de Presión absoluta del Múltiple de Admisión)</i>	18
2.2.10	<i>Ciclos de conducción</i>	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	20
3.1	Tipos de investigación	20
3.1.1	<i>Investigación de campo</i>	20
3.1.2	<i>Investigación analítica</i>	20
3.1.3	<i>Investigación cuantitativa</i>	21
3.1.4	<i>Esquema del marco metodológico</i>	21
3.2	Operacionalización de las variables	22
3.2.1	<i>Tipos de variables</i>	22
3.2.1.1	<i>Variables independientes</i>	22
3.2.1.2	<i>Variables dependientes</i>	22
3.3	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	23
3.3.1	<i>Selección del vehículo</i>	23
3.3.2	<i>Determinación del electrolito</i>	25
3.3.3	<i>Elaboración del electrolito</i>	28
3.3.4	<i>Selección del combustible para las pruebas</i>	29
3.3.5	<i>Determinación de la ruta de prueba</i>	30
3.3.5.1	<i>Ciclo de conducción para la prueba</i>	31

3.3.6	<i>Recolección de datos a bordo</i>	31
3.3.6.1	<i>Aplicación Torque Pro</i>	31
3.3.6.2	<i>Conector ELM 327 OBD II</i>	32
3.3.7	<i>Depósito externo para medición de consumo de combustible en pruebas</i>	33
3.3.8	<i>Dinamómetro de rodillos</i>	34
3.3.9	<i>Balanza digital CAMRY EK3252</i>	34
3.3.10	<i>Escáner automotriz MUCAR BT200</i>	35
3.4	Implementación de la celda de hidrógeno en el vehículo	36
3.4.1	<i>Protocolo de instalación de la celda de hidrógeno</i>	36
3.4.1.1	<i>Acoplamiento del generador en el compartimiento del motor</i>	36
3.4.1.2	<i>Instalación eléctrica de la celda de hidrógeno</i>	38
3.4.2	<i>Protocolo de consumo de combustible con la norma SAE J1321: 2012</i>	41
3.4.3	<i>Protocolo de torque y potencia</i>	41
3.5	Técnicas de análisis de resultados	41
3.5.1	<i>Excel</i>	42
3.5.2	<i>Minitab</i>	42
3.5.3	<i>Modelo estadístico T de Student</i>	42

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1	Consumo de combustible	43
4.1.1	<i>Análisis de la prueba dinámica de consumo de combustible</i>	44
4.1.1.1	<i>Discusión</i>	45
4.1.2	<i>Análisis del torque</i>	46
4.1.2.1	<i>Discusión</i>	47
4.1.3	<i>Potencia</i>	47
4.1.3.1	<i>Discusión</i>	49
4.1.4	<i>Comparación de las curvas características obtenidas del motor de combustión</i>	49
4.1.5	<i>Sensor MAP</i>	50
4.1.5.1	<i>Discusión</i>	50

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	51
5.1	Propuesta	51

CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Octanaje de combustibles comparados con el hidrógeno.....	7
Tabla 2-2:	Propiedades del Hidrógeno.....	13
Tabla 2-3:	Características técnicas del generador de hidrógeno.....	17
Tabla 3-1:	Definición de variables y su nomenclatura.	22
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas del vehículo.	25
Tabla 3-3:	Especificaciones del HoneForest YL-TDS2-A.....	26
Tabla 3-4:	Prueba de la calidad de agua.....	27
Tabla 3-5:	Prueba de calidad del electrolito.....	28
Tabla 3-6:	Parámetros del ciclo de conducción.	31
Tabla 3-7:	Especificaciones técnicas conector ELM 327.....	33
Tabla 3-8:	Especificaciones técnicas Dynocom AWD 5000-FX.	34
Tabla 3-9:	Especificaciones técnicas de la balanza CAMRY EK3252.	35
Tabla 3-10:	Especificaciones técnicas escáner MUCAR BT200.	36
Tabla 4-1:	Datos obtenidos de las pruebas de consumo de combustible.	43
Tabla 4-2:	Consumo de combustible SICH.	44
Tabla 4-3:	Consumo de combustible ICH.....	45
Tabla 4-4:	Prueba T de Student para el consumo de combustible.....	45
Tabla 4-5:	Prueba de torque.....	46
Tabla 4-6:	Prueba T de Student para el Torque.	47
Tabla 4-7:	Prueba de potencia	48
Tabla 4-8:	Prueba T de Student para la Potencia.	49
Tabla 4-9:	Prueba del sensor MAP.	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Precio y cantidad demandada de la gasolina extra en el periodo 2019-2021...6
Ilustración 2-2:	Celda de hidrógeno.....7
Ilustración 2-3:	Mecanismo biela-manivela del motor de combustión.....8
Ilustración 2-4:	Funcionamiento del freno hidráulico.9
Ilustración 2-5:	Funcionamiento del freno por fricción.10
Ilustración 2-6:	Funcionamiento de un freno eléctrico.10
Ilustración 2-7:	Dinamómetro Dynocom DC 5000-FX.12
Ilustración 2-8:	Principio funcionamiento de la celda de hidrógeno.15
Ilustración 2-9:	Celda electrolítica con dos electrodos.16
Ilustración 2-10:	Celdas húmedas de hidrógeno.17
Ilustración 2-11:	Generador de hidrógeno.17
Ilustración 2-12:	Generador de celda seca.18
Ilustración 2-13:	Sensor MAP.18
Ilustración 2-14:	Ciclos de conducción.....19
Ilustración 3-1:	Número de vehículos motorizados matriculados (miles), periodo 2021.23
Ilustración 3-2:	Venta de vehículos en Ecuador 2022.....24
Ilustración 3-3:	Ventas anuales de vehículos 2007-2022.....24
Ilustración 3-4:	Vehículo seleccionado.....25
Ilustración 3-5:	HoneForest YL-TDS2-A.....26
Ilustración 3-6:	Muestras de aguas.27
Ilustración 3-7:	Elaboración del electrolito.....28
Ilustración 3-8:	Despachos totales de derivados 2022.29
Ilustración 3-9:	Ruta establecida en la ciudad de Riobamba.....30
Ilustración 3-10:	Ciclo representativo de la ruta.31
Ilustración 3-11:	Interfaz Torque Pro.32
Ilustración 3-12:	Conector OBD II ELM 327.....32
Ilustración 3-13:	Depósito portátil de combustible.33
Ilustración 3-14:	Dynocom AWD 5000-FX.34
Ilustración 3-15:	Balanza digital CAMRY EK3252.35
Ilustración 3-16:	Escáner automotriz MUCAR BT200.....36
Ilustración 3-17:	Implementación de la celda de hidrógeno.37
Ilustración 3-18:	Acoplamiento de mangueras.38
Ilustración 3-19:	Celda de hidrógeno acoplada en la carrocería.38
Ilustración 3-20:	Diagrama de fusibles de la batería del auto en estudio.39

Ilustración 3-21:	Instalación eléctrica.....	39
Ilustración 3-22:	Instalación completa de la celda de hidrógeno.	40
Ilustración 3-23:	Esquema eléctrico de la instalación.	40
Ilustración 4-1:	Pesaje de combustible.	44
Ilustración 4-2:	Variación de consumo de combustible en litros.	45
Ilustración 4-3:	Gráfico de barras de la variación del torque.	46
Ilustración 4-4:	Variación del torque con la celda de hidrógeno implementada.	47
Ilustración 4-5:	Gráfico de barras de la variación de la potencia	48
Ilustración 4-6:	Variación de la potencia con la celda de hidrógeno implementada.	48
Ilustración 4-7:	Curvas del motor con las variables SICH e ICH.....	49
Ilustración 4-8:	Lectura del sensor MAP con el escáner.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ANALISIS DE DATOS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

ANEXO B: ANALISIS DE DATOS DEL TORQUE Y POTENCIA

ANEXO C: ANALISIS ESTADÍSTICOS EN MINITAB

ANEXO D: INFORME DINAMÓMETRO

RESUMEN

El incremento del parque vehicular en el Ecuador ha ido creciendo con el pasar de los años lo que provoca tener un mayor consumo de combustibles fósiles, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la variación de combustible, torque y potencia con la implementación de un generador de hidrógeno de tipo celda húmeda en un vehículo con las siguientes características: hatchback 1.6 litros fabricado en el año 2008, se procedió a evaluar el comportamiento para el cual se elaboró un electrolito de alta conductividad eléctrica. La metodología implementada fue de tipo experimental de campo, se realizó en Riobamba que se encuentra a una altitud de 2754 m.s.n.m, en esta ciudad se trazó una ruta urbana la cual fue sustentada mediante el ciclo de conducción en donde se llevó a cabo ensayos dinámicos de consumo de combustible mediante la aplicación de la norma SAE J1321:2012, en cuanto al torque y potencia se realizaron pruebas en el banco dinamométrico de rodillos. Mediante esta metodología se pudo determinar un aumento en el consumo de gasolina de 63 ml, con respecto al par motor y la potencia se obtuvo un incremento en 1,88 lb-ft y 9,01 Hp respectivamente. Concluyendo así que con el generador de hidrógeno aumentó el consumo de combustible y no disminuyó como se mencionaba inicialmente, en cuanto al torque y la potencia se obtuvo un incremento, lo cual comprueba que con dicho instrumento se puede aumentar estos dos parámetros del motor de combustión interna.

Palabras clave: <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA>, <GENERADOR DE HIDRÓGENO>, <COMSUMO DE COMBUSTIBLE >, <TORQUE >, <POTENCIA >



03-04-2024
0024-DBRA-UPT-2024

SUMMARY

The increase in the vehicle fleet in Ecuador has been growing over the years, which causes greater consumption of fossil fuels. Therefore, the objective of this research work was to determine the variation of fuel, torque and power with the implementation of a wet cell type hydrogen generator in a vehicle with the following characteristics: 1.6 litres hatchback and manufactured in 2008. The behavior was evaluated for which an electrolyte with high electrical conductivity was developed. The methodology implemented was of a field experimental type. It was carried out in Riobamba which is located at an altitude of 2754 m.a.s.l, in this city an urban route was drawn which was supported by the driving cycle where dynamic tests of fuel consumption through the application of the SAE J1321:2012 standard, in terms of torque and power, tests were carried out on the roller dynamometer. Through this methodology it was possible to determine an increase in the gasoline consumption of 63 ml, with regard to engine torque and power, an increase of 1,88 lb-ft and 9,01 Hp was obtained respectively. This concluding that with the hydrogen generator fuel consumption increased and did not decrease as initially mentioned, about the torque and power an increase was obtained, proving that these two parameters of the internal combustion engine can be increased with this instrument.

Keywords: <INTERNAL COMBUSTION ENGINE>, <HYDROGEN GENERATOR>, <FUEL CONSUMPTION>, <TORQUE>, <POWER>



Lic. Sandra Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El incremento del parque vehicular crece año tras año en el país lo que significa un mayor consumo de combustible, el mismo que ha sufrido cambios significativos en cuanto a su precio, motivando así la necesidad de optimizar el consumo de este en los vehículos. Por otra parte, se sabe también que la altura tiene mucha afectación en el rendimiento del motor tanto en la potencia y en el torque, los cuales pueden estar sujetos a variaciones debido a cambios en la presión atmosférica, temperatura y humedad que varían dependiendo de la ciudad en la que transite el vehículo, teniendo así alteraciones en la mezcla estequiométrica aire-combustible ya que obliga a la gestión electrónica del motor a modificar los valores de los parámetros anteriormente mencionados, lo cual en cierto punto se obtendrán mezclas ricas o pobres dejando así de lado el test de consumo de combustible realizado por los fabricantes (ARROYO et al. 2020, pp. 150-151).

Los vehículos han sido diseñados por sus fabricantes con la intención de tener el mejor rendimiento y esto se logra en ciudades que tengan un impacto bajo con su altura respecto al nivel del mar, pero verdaderamente los automotores tienen que ser sometidos a pruebas de rendimiento en ciudades de altura como el caso de la ciudad Riobamba que se encuentra a 2750 m.s.n.m., y así analizar el comportamiento del motor de combustión interna, la altura y la densidad del aire son inversamente proporcionales provocando que exista aumento de consumo de combustible y de emisiones contaminantes que terminan siendo perjudiciales para la salud y el medio ambiente (Lapuerta et al. 2006, pp. 21-30). En la actualidad existen diversos productos automotrices que ofrecen ciertas mejoras al vehículo tales como: reducción del consumo de combustible, aumento de torque y potencia, con la particularidad de no causar alteraciones en cuanto a la eficiencia del motor, siendo así el hidrógeno una de las alternativas que se puede encontrar en la industria automotriz.

En el país no existe un estudio que avale el verdadero comportamiento en cuanto al consumo de combustible, pero si existe bibliografía de las celdas de hidrógeno y su influencia en gases contaminantes, razón por la cual en la ciudad de Riobamba se realizó la obtención de datos mediante el uso de un vehículo para el estudio pertinente. Se realizaron dos pruebas diferentes para la obtención de datos, una sin instalar la celda de hidrógeno y otra ya instalada, estableciendo así una ruta en la circunvalación de la ciudad, que consistió en realizar 5 vueltas por cada una de las pruebas, en cuanto al consumo de combustible fue estimado mediante el pesaje al inicio y al final de cada prueba de ruta, para lo cual se empleó la norma SAE J1321:2012 (Sociedad de Ingenieros Automotrices), con respecto a los datos de potencia y torque estos fueron obtenidos mediante las dos pruebas anteriormente expuestas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El Ecuador al ser un país que es atravesado por la Cordillera de los Andes, hace que en las distintas ciudades varíe la presión atmosférica y la temperatura, razón por la cual los motores de combustión interna se ven afectados por dichas condiciones ambientales, principalmente por el cambio de la densidad del aire lo cual provoca combustiones ineficientes reflejando así un aumento del consumo de combustible y afectaciones en la salud de las personas debido a los gases contaminantes provenientes del vehículo. La gestión electrónica del motor se verá obligada a cambiar los parámetros inmiscuidos en la inyección de combustible debido a la variación de la altura, afectando así a la mezcla estequiométrica en donde se establece que se tendrá 14,7:1 es decir que por 1 gr de combustible se necesita 14,7 gr de aire (MOTORGIGA, 2012).

Al incorporar la celda de hidrógeno se evaluará las curvas del comportamiento del motor, es decir el torque, potencia y el consumo de gasolina, y así poder verificar el verdadero funcionamiento y prestaciones que brinda este dispositivo automotriz. Se busca analizar la variación de los parámetros del motor con la implementación de una celda de hidrógeno.

1.2 Limitaciones y delimitaciones

El análisis del torque, potencia y consumo se realizó en un vehículo hatchback de 1.6 lt a gasolina del año 2008, ejecutando pruebas con y sin haber instalado la celda de hidrógeno en el motor. Las pruebas de par motor y potencia se realizaron bajo las mismas condiciones climáticas y con el mismo modelo de dinamómetro, para así poder obtener resultados más confiables.

En cuanto al consumo de combustible se utilizó gasolina extra, que fue estimado mediante el pesaje, tanto al inicio y fin de la ruta, tal y como lo establece la norma SAE J1321:2012 (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

Para la toma de datos se estableció una ruta por la circunvalación de la ciudad de Riobamba, dicho recorrido empezó en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el parqueadero del edificio de la carrera de Ingeniería Automotriz dicho trayecto tuvo una distancia total de 17.1 km aproximadamente y se realizó cinco vueltas para la obtención de los datos.

1.3 Problema General de la Investigación

¿Se reducirá consumo de combustible y aumentará el torque y la potencia de un vehículo que tiene un motor de 1,6 litros al implementar una celda de hidrógeno?

1.4 Problemas Específicos de la Investigación

¿Cuál es el principio de funcionamiento de la celda de hidrógeno en un motor a gasolina?

¿De qué manera se debe instalar una celda de hidrógeno en el motor de combustión interna?

¿La celda de hidrógeno reduce el consumo de combustible sin ser contraproducente en cuanto al torque y la potencia del vehículo?

¿Cómo varía el torque y la potencia del vehículo al tener más cantidad de hidrógeno en el aire de la mezcla?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la variación del consumo de combustible, torque y potencia al implementar una celda de hidrógeno en un vehículo 1.6 LT a 2750 msnm, mediante la norma SAE J1321:2012 y comprobando la ruta establecida con un ciclo de conducción.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar el principio de funcionamiento de la celda de hidrógeno a través de revisión bibliográfica especializada.
- Implementar la celda de hidrógeno considerando las recomendaciones del fabricante para un correcto funcionamiento.
- Realizar pruebas de consumo de combustible, torque y potencia antes y después de la implementación de la celda de hidrógeno.
- Realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos de torque, potencia y consumo de combustible antes y después de instalar la celda de hidrógeno, y validar mediante un modelo estadístico.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación Teórica

El aumento de los precios de los combustibles derivados del petróleo ha provocado un malestar en la economía de los ecuatorianos, por otra parte, el incremento de los gases contaminantes provenientes de los automotores siempre han sido un tema muy discutido por los entes encargados de la protección del medio ambiente, abriendo así nuevos campos de investigación destinados a la reducción de la contaminación por parte de los motores de combustión interna y de los combustibles (Chacón, 2019, pp. 3).

La industria automotriz siempre está en constante actualización generando así nuevas tecnologías, algunas de las cuales están destinadas a la reducción del consumo de combustible, muchas de estas invenciones no tienen estudios previos a su instalación, es decir que sus beneficios en cierta parte no son comprobados en su totalidad, como es el caso de la celda de hidrógeno la cual aumentará la capacidad del combustible y a la vez irá mejorando el performance del automotor principalmente (Arenal et al. 2010, pp. 9-11).

1.6.2 Justificación Metodológica

El generador de hidrógeno implementado en un motor de combustión interna tiene el objetivo de reducir el consumo de gasolina, mejorar el par y la potencia de un vehículo, es decir contrarrestar los efectos producidos en el mismo debido a la altura en la que se desempeña.

Para desarrollar el presente tema de investigación se usará el método hipotético-deductivo debido a que se partirá de aseveraciones hipotéticas para luego realizar los estudios y las pruebas pertinentes y así de esta manera se pueda debatir para poder llegar a las conclusiones que ayudarán a contrarrestar los datos mostrados por el fabricante. Por otra parte, con la ayuda del método experimental que fueron las pruebas de consumo de combustible, torque y potencia se obtuvo resultados más fiables que son avalados en conjunto con el análisis de todos los datos obtenidos.

1.6.3 Justificación Práctica

La dinámica de la celda de hidrógeno permitirá compensar la mezcla estequiométrica para una mejor combustión en el motor, aumentando su eficiencia y a la vez reduciendo la cantidad de

combustible, con proyección a mediano plazo para así hacer uso de fuentes de energías alternativas (Arenal et al. 2010, pp. 9-11).

La cantidad de vehículos de 1.6 lt de cilindrada es muy extensa y en diversas marcas dentro de la ciudad de Riobamba, por tal se realizó las pruebas en un vehículo de similares características (AEADE, 2021, pp. 99-127).

1.7 Hipótesis

Hipótesis: La implementación de una celda de hidrógeno en un motor de combustión interna 1.6 CC de un vehículo utilitario tipo hatchback año 2008, modifica el consumo de combustible, potencia y torque del motor.

Hipótesis Nula: La implementación de una celda de hidrógeno en un motor de combustión interna 1.6 CC de un vehículo utilitario tipo hatchback año 2008, no modifica el consumo de combustible, potencia y torque del motor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En el año 2021 se realizó una investigación sobre la variación de los precios de los combustibles vendidos en el país, dando como resultado que la gasolina super fue sustituida por la gasolina extra hasta en un 14,5% debido a su aumento significativo en el precio, en cuanto a la gasolina extra y diésel la demanda y su precio fue inelástico es decir que al no tener sustitutos su venta no tuvo cambios significativos (Sánchez, 2021, pp. 14-19).

Debido a los aumentos en el precio de los combustibles en el Ecuador, los usuarios tuvieron que elegir opciones que ayuden a su desplazamiento, pero sin afectar su economía buscando alternativas como el transporte público e invenciones automotrices que ayuden a reducir el consumo del combustible en el automotor sin afectar al performance de este (Sánchez, 2021, pp. 14-19).

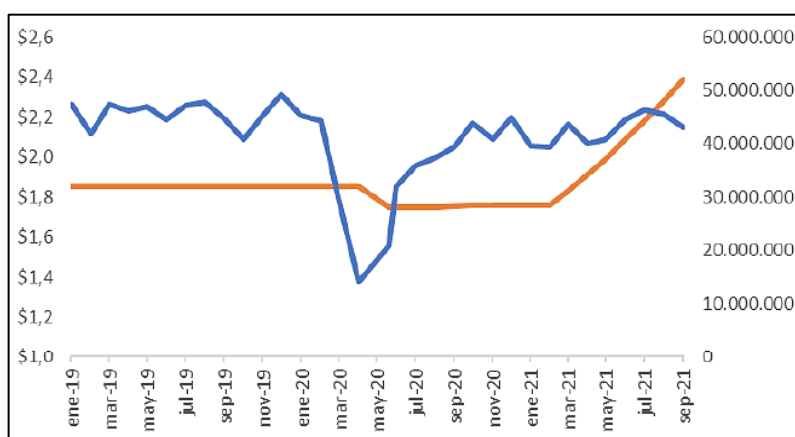


Ilustración 2-1: Precio y cantidad demandada de la gasolina extra en el periodo 2019-2021.

Fuente: Sánchez, 2021

En los diferentes mercados internacionales como la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y varias empresas automotrices han optado emplear celdas de hidrógeno, así como también ocurre en el mercado ecuatoriano donde se puede encontrar esta tecnología que tienen como tendencia aumentar el rendimiento, optimizar costos y darle más autonomía al vehículo (Arenal et al. 2010, pp. 9-11).

Tabla 2-1: Octanaje de combustibles comparados con el hidrógeno.

Combustible	Octanaje
Hidrógeno	130
Metano	125
Propano	105
Octano	100
Gasolina	87
Diesel	30

Fuente: Quezada et al. 2014

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

El hidrógeno está tomando mucha relevancia en la industria automotriz ya que es un combustible renovable y amigable con el medio ambiente, no se lo encuentra directamente en el medio ambiente, pero es muy fácil producirlo, denominándolo así también como el combustible del futuro porque tiene una polución atmosférica muy reducida (Suárez, 2018, pp. 18-19).



Ilustración 2-2: Celda de hidrógeno.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 Norma SAE J1321:2012.

La norma SAE J1321 se emplea para determinar el consumo de combustible, se puede medir por gravimetría o volumetría al inicio y al final de cada prueba, esto se logra con la implementación de un tanque de combustible adicional portable con conexiones de acople rápido, que servirá para una fácil traslado hacia la balanza donde se determinará su masa, mediante el pesaje de la gasolina

almacenada en el recipiente una vez que se finaliza la prueba y se llega al punto donde se inició la ruta y registro de datos (Pachacama Gualotuña et al. 2020, pp. 9).

2.2.2 Torque del motor de combustión interna.

Se denomina torque o par motor a la capacidad que tiene un MCI (Motor de Combustión Interna) para lograr el desplazamiento de un vehículo. Esto se produce cuando en el cilindro donde se está realizando la combustión entra la mezcla del aire con el combustible específicamente en la etapa de compresión del cilindro, lo cual produce el movimiento del pistón, dicho movimiento se ve reflejado en el giro del cigüeñal para ser transmitido a las ruedas del vehículo (Padilla et al. 2021, pp. 1486-1487).

La chispa eléctrica producida por la bujía genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor, dicha presión genera una fuerza de empuje sobre el embolo que le desplaza generando el clásico mecanismo de biela manivela, donde el movimiento lineal del pistón se transforma en movimiento rotacional en el cigüeñal (Castillo & Rojas, 2015, pp. 6-10).

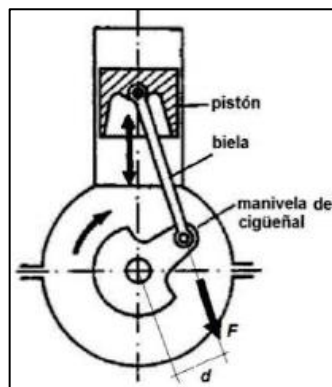


Ilustración 2-3: Mecanismo biela-manivela del motor de combustión.

Fuente: Castillo & Rojas, 2015

2.2.3 Potencia del motor de combustión interna

La potencia es la cantidad de veces que puede estar presente el torque del motor en un intervalo de tiempo, si el tiempo en el que se presente el par motor es pequeño la potencia será mayor (Padilla et al. 2021, pp. 1486-1487).

La potencia presente en un MCI (Motor de Combustión Interna) está en función de la RC (Relación de Compresión) y del número de cilindros, si se tiene valores significativos de los

parámetros mencionados se tendrá una mayor explosión y por lo tanto se produce más fuerza en el pistón, depende también de las RPM (Revoluciones Por Minuto) que gira el cigüeñal (Castillo & Rojas, 2015, pp. 6-10).

2.2.4 Métodos para la obtención del torque y potencia de un motor de combustión.

La obtención del torque y potencia de un motor se clasifica en métodos directos e indirectos. Los métodos indirectos tienen una mayor precisión razón por la cual se han vuelto confiables pero los métodos directos son más concisos.

2.2.4.1 Método de freno hidráulico

Es la mejora del freno de fricción con la particularidad que usa agua como recurso de fricción reemplazando así a las clásicas zapatas de freno. Funciona por medio de conductos de agua que ingresan al rotor atravesando al estator, de esta manera se produce el rozamiento en el interior lo que provoca que el agua abandone a una temperatura más elevada (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

Entre el estator y el rotor se encuentra unos espacios huecos que forman una turbina, el movimiento del agua se opone al giro del rotor generando así resistencia que no es más que una reacción o par en el estator por lo tanto el par de reacción será función del par del motor (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

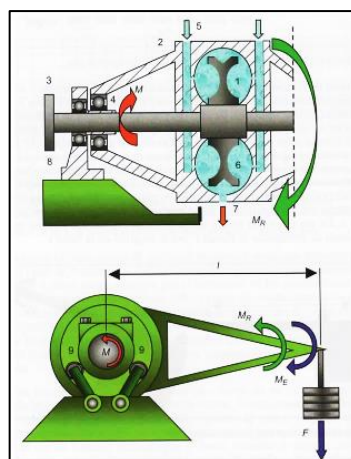


Ilustración 2-4: Funcionamiento del freno hidráulico.

Fuente: Cargua & Castelo, 2017

2.2.4.2 Método directo por frenos de fricción

Este método ya no es utilizado hoy en día, su principio de funcionamiento se basa en que un brazo de transmisión mediante un eje se ubicaba en un extremo para luego ser arrastrado hacia el otro extremo donde se encontraba el rotor que contenía a las zapatas. Las mismas que con la ayuda del giro de un MCI (Motor de Combustión Interna) generan una fuerza de rozamiento la cual coloca en estado de equilibrio al sistema y al multiplicarlo por la longitud del brazo se genera un momento lo cual sería en si el torque del motor (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

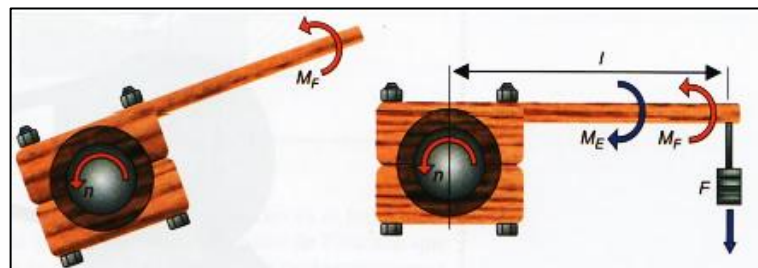


Ilustración 2-5: Funcionamiento del freno por fricción.

Fuente: Cargua & Castelo, 2017

2.2.4.3 Método de freno eléctrico

Este método tiene el mismo funcionamiento de los frenos hidráulicos y por fricción, haciéndolo diferente de estos por tener acoplado un generador en el eje del motor funcionando, así como una especie de bobinado entre el rotor y estator el cual también debe poseer unas pesas para balancearlo y evitar el giro producido por el campo magnético producido, provocando así su equilibrio que no es más que el momento producido por el motor (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

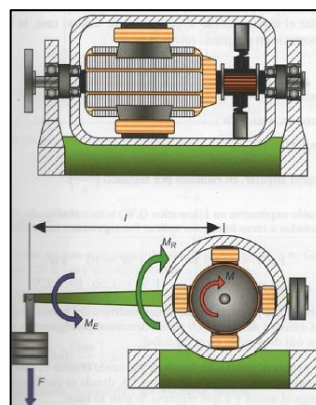


Ilustración 2-6: Funcionamiento de un freno eléctrico.

Fuente: Cargua & Castelo, 2017

2.2.4.4 Método indirecto de aceleración libre

Se basa en la utilización de la aceleración angular (α) y el momento de inercia (I), el producto de estos es el momento angular (M) que de igual forma se multiplicará con la velocidad angular (ω) siendo así el resultado la potencia del MCI (Motor de Combustión Interna), en otras palabras, es la combinación de las ecuaciones que se detallan a continuación (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

$$M = I * \alpha \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$P = M * \omega \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Para la potencia efectiva

$$Pe = I * \alpha * \omega \quad \text{Ecuación 2-3}$$

El momento de inercia es muy necesario para este cálculo, el cual se puede obtener con el motor a ciertas RPM (Revoluciones Por Minuto) y quitarle el salto de la chispa de manera inmediata para obtener una aceleración angular pero negativa (Lema & Correa, 2017, pp. 9-12)..

$$T_{pm} = I * \omega_1 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde:

T_{pm} : Torque de pérdidas mecánicas (Nm)

ω_1 : Tasa de desaceleración en la condición 1 (rad/s²)

El sensor de posición del cigüeñal y la frecuencia instantánea que produce ayuda a determinar la velocidad angular del motor, el cual dependerá del número de dientes que cuente la rueda fónica en conjunto con la señal que emite dicho sensor (Lema & Correa, 2017, pp. 9-12).

La obtención de la frecuencia se da a través de la siguiente expresión:

$$F = \frac{n}{\text{segundos}} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Donde:

F : Frecuencia (Hz)

n : Número de dientes que pasan por el sensor

La velocidad angular se la puede obtener de la siguiente forma:

$$\omega = \frac{F}{N}$$

Ecuación 2-6

Donde:

N : Número de dientes de la rueda fónica

Por último, la aceleración angular del motor se debe obtener en ciertos intervalos de tiempo, la siguiente expresión dará como resultado dicha aceleración.

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$$

Ecuación 2-7

Donde:

ω_2 : Velocidad angular en el instante 2 (rad/s²)

ω_1 : Velocidad angular en el instante 1 (rad/s²)

t_2 : Instante 2 (s)

t_1 : Instante 1 (s)

2.2.4.5 Método por dinamómetro de chasis

Este método actualmente es el más utilizado para obtener los parámetros del performance del motor de un vehículo sin tener que realizar cálculo alguno ni desmontajes, su funcionamiento es a través de rodillos con motores eléctricos que en conjunto con la gestión electrónica y software se obtienen los datos necesarios (Cargua & Castelo, 2017, pp. 11-15).

Para el presente estudio se eligió este método con el beneficio de una obtención de datos más rápida y eficaz.



Ilustración 2-7: Dinamómetro Dynocom DC 5000-FX.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

2.2.5 El Hidrógeno

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica representado con la letra H, es un gas diatómico en condiciones normales de presión y temperatura y es el gas más abundante aproximadamente en un 75% en el planeta (Suárez, 2018, pp.18).

La obtención del hidrógeno elemental se obtiene en el lugar y el momento en el que se necesita, se puede producir a través de la electrólisis para luego dar diferentes usos en la industria como el refinado de combustibles fósiles, producción de amoníaco e incluso en vehículos como es el caso de BMW, Mercedes Benz, Volkswagen, Ford, Toyota y Honda, teniendo un motor con mucha autonomía y potencia (Suárez, 2018, pp.18).

Tabla 2-2: Propiedades del Hidrógeno.

Peso atómico	1.00797
Densidad	0.0899 kg/m ³
Configuración electrónica	1s1
Electrones por capa	1
Estados de oxidación	(1, -1)
Óxido	Anfótero
Estado	Gaseoso
Punto de fusión	14.025 K
Punto de ebullición	20.268 K
Punto de inflamabilidad	255 K
Calor de fusión	0.05868 kJ/mol
Presión de vapor	209 Pa a 23 K
Temperatura crítica	23.97 K
Presión crítica	1.293*10 ⁶ Pa
Volumen molar	22.42*10 ⁻³ m ³ / mol
Electronegatividad	2.2
Color específico	1.4304*10 ⁴ J/Kg * K
Conductividad eléctrica	-S/m
Conductividad térmica	0.1815 W/K * m
Numero atómico	1

Fuente: Jiménez & Marín, 2021

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

2.2.5.1 El hidrógeno como combustible

La tendencia actual de los fabricantes de vehículos está enfocada en el confort, seguridad y el cuidado del medio ambiente, por lo que se han visto en la necesidad de buscar combustibles alternativos como es el caso del hidrógeno que puede sustituir a los combustibles derivados del petróleo debido que es abundante, renovable y no contamina directamente a la atmósfera (Quezada & Torres 2014, pp. 6-14).

2.2.5.2 Ventajas del hidrógeno como combustible

Las ventajas del hidrógeno son muy evidentes y de mucha ayuda al medio ambiente ya que no genera polución al no existir hidrocarburos sin quemar, el vapor de agua que se produce en la cámara de combustión lo que ayuda a aumentar el volumen del gas en la etapa de expansión del pistón, transmitiendo así de mejor manera la energía en el interior del motor (Chacón, 2019, pp. 10).

2.2.6 Generación de hidrógeno

La generación del hidrógeno se da a través de fuentes como el agua y gases naturales que para su separación atómica necesitan aporte de energía, ya que este elemento no se encuentra en el medio ambiente en su estado fundamental, razón por la cual la producción de hidrógeno se fundamenta a partir de un proceso que conlleva la transformación de la energía (Quezada & Torres 2014, pp. 6-14).

2.2.6.1 Termólisis

La termólisis es una de las formas de generar hidrógeno, y se da cuando la temperatura del agua sobrepasa los 2 227 °C, disociando así los enlaces de la molécula del agua H₂O, es por eso que se lleva a cabo cuando el agua tiene contacto con una superficie a elevada temperatura y fuerza calórica dando como resultado la separación en oxígeno e hidrógeno molecular, este proceso se debe ejecutar de manera muy ágil ya que pueden presentarse detonaciones muy fuerte debido a que la hipersensibilidad es reversible (Pesántez & Tacuri, 2021, pp. 55-59).

2.2.6.2 Electrólisis

El término electrólisis proviene de la palabra “electro” que quiere decir electricidad y “lisis” hace referencia a división, estudia procesos donde la energía eléctrica provoca cambios químicos en compuestos iónicos o soluciones con sustancias electrolíticas disueltas (Duque, Masaquiza, 2013, pp. 16).

Es el proceso en el que se necesita energía eléctrica la cual es conducida por un electrolito para provocar cambios químicos en la solución, la electrólisis se lleva a cabo en un dispositivo conocido como celda electrolítica (Pesántez & Tacuri, 2021, pp. 55-59).

La electrólisis usa la propiedad de la conductividad eléctrica que presentan algunas sustancias o materiales para generar el proceso químico conocido como Redox, la conductividad eléctrica se genera en metales (plata, cobre y en el agua) y en el electrolito (Chacón, 2019, pp. 11).

2.2.7 *Electrolito*

Se definen como conductores iónicos de cargas positivas o negativas con la particularidad que son capaces de conducir la energía eléctrica, es decir que se presenta la conductividad eléctrica, el electrolito más común es la mezcla de agua con cloruro de sodio (Pesántez & Tacuri, 2021, pp. 55-67).

Es una sustancia que contiene iones libres que actúan como medio conductor eléctrico, también son conocidos como soluciones iónicas, dicho de otra manera, el electrolito es un material que tiene la capacidad de disolverse en el agua y permite conducir una corriente eléctrica (Duque & Masaquiza, 2013, pp. 21).

2.2.8 *Celda de hidrógeno*

Son dispositivos electroquímicos que producen energía eléctrica, ya sea por medio de la electrólisis o electrólisis inversa. Existen dos tipos de celdas, pueden ser de combustible que se emplean para la producción de electricidad y electrolíticas que producen hidrógeno, dichas celdas fueron utilizadas para este trabajo investigativo (Jiménez & Marín, 2021, pp. 20-21).

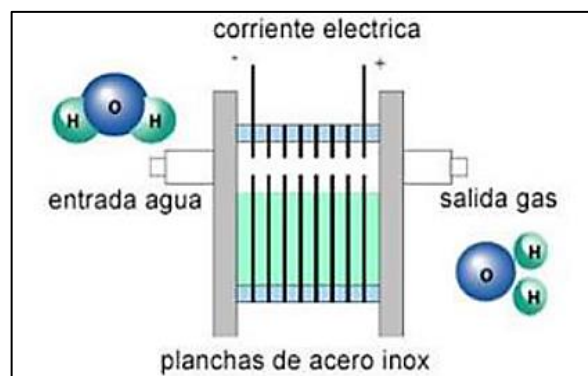


Ilustración 2-8: Principio de funcionamiento de la celda de hidrógeno.

Fuente: Pesántez & Tacuri, 2021

2.2.8.1 Celdas electrolíticas

Son dispositivos electroquímicos los cuales tienen la particularidad de almacenar una disolución acuosa o electrolito y tener la capacidad para conducir iones. Se necesitará de dos electrodos que sean de materiales sólidos y conductores de electricidad, un electrodo es el cátodo en donde se da lugar a la reducción mientras tanto donde sucede la oxidación del electrolito se lo conoce como ánodo, estos electrodos se sumergirán en el electrolito para que exista la disociación de los enlaces de los átomos y se liberen los gases de trabajo, en este caso el hidrógeno (Jiménez & Marín, 2021, pp 20-21).

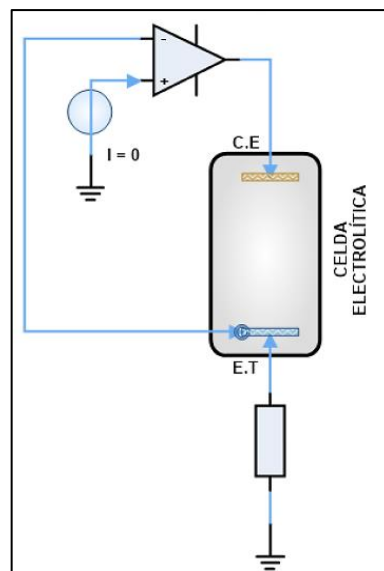


Ilustración 2-9: Celda electrolítica con dos electrodos.

Fuente: Caicedo, 2021

Las celdas electrolíticas son también conocidas como electrolizadores, en la industria automotriz existen dos tipos de celdas, las húmedas y secas las cuales se fabrican en acero inoxidable (Pesántez, Tacuri, 2021, pp. 55-67).

2.2.8.1.1. Celdas húmedas de hidrógeno

Las celdas húmedas se caracterizan por tener un electrolito líquido dentro del cual están sumergidos total o parcialmente los electrodos (ánodo y cátodo), pueden ser de placas de acero inoxidable y otro tipo de metales sólidos, este tipo de celdas son simples de construir ya que no necesitan muchos componentes, pero esto significa también que no son muy eficientes (HidroEnergy, 2019).

Los electrodos se encargan de la oxidación y reducción del electrolito dando origen al hidrógeno, el cual empieza a fluir por el electrolizador para finalmente salir por una válvula que generalmente se encuentra en la parte superior del recipiente en el que este contenido la celda (HidroEnergy, 2019).

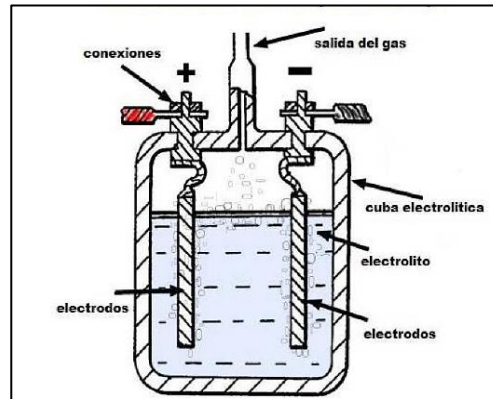


Ilustración 2-10: Celdas húmedas de hidrógeno.

Fuente: Pesántez & Tacuri, 2021

Este tipo de celda de hidrógeno fue la que se empleó para el presente trabajo de investigación, la cual está fabricada en PVC (Cloruro de Polivinilo) y forrada con fibra de carbono, a continuación de detalla algunas características:

Tabla 2-3: Características técnicas del generador de hidrógeno.

Medidas	32 cm de alto x 2 pulgadas de diámetro
Producción de hidrógeno	1.6 litros por minuto
Accesorios	Regulador de flujo de hidrógeno Regulador de voltaje de 12 voltios a 5 voltios.
Material	PVC de alta calidad y presión Acero inoxidable + Titanio.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.



Ilustración 2-11: Generador de hidrógeno.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

2.2.8.1.2 Celdas secas de hidrógeno

Estas celdas presentan una mejor eficiencia debido a su diseño y poco consumo de corriente eléctrica, por la cual es fácil de usar en comparación con la celda húmeda, este tipo de celdas se caracteriza por tener un depósito externo para el electrolito y la misma celda es el contenedor (Pesántez, Tacuri, 2021, pp. 55-67).



Ilustración 2-12: Generador de celda seca.

Fuente: Pesántez & Tacuri, 2021

2.2.9 El Sensor MAP (Sensor de Presión absoluta del Múltiple de Admisión)

Es el encargado de censar la presión absoluta que tiene el colector de admisión, pero con la característica que la señal de vacío es transformada a una señal de voltaje para así indicar la altura sobre el nivel del mar a la ECU (Unidad de Control del Motor) (Paidá, 2007, pp. 28).

Este sensor cuantifica la presión de aire que ingresa al motor a través del múltiple de admisión permitiendo obtener información sobre los cambios de la presión atmosférica, vacíos en el motor, estos datos son necesarios para que la ECU pueda controlar el avance de chispa y ajustar la mezcla aire-combustible en las diferentes cargas del MEP (Motor de Encendido Provocado) (Jachero, 2016, pp. 6-7).



Ilustración 2-13: Sensor MAP.

Fuente: Jachero, 2016

2.2.10 Ciclos de conducción

Es una serie de datos que permite relacionar mediante una gráfica, la velocidad y el tiempo registrados en un instante, tiene como enfoque poder estimar el consumo específico de combustible, índice de emisiones contaminantes y las características de manejo de los conductores, se aplican en tramos urbanos o interurbanos (Espimbera, 2018, pp. 6-9).

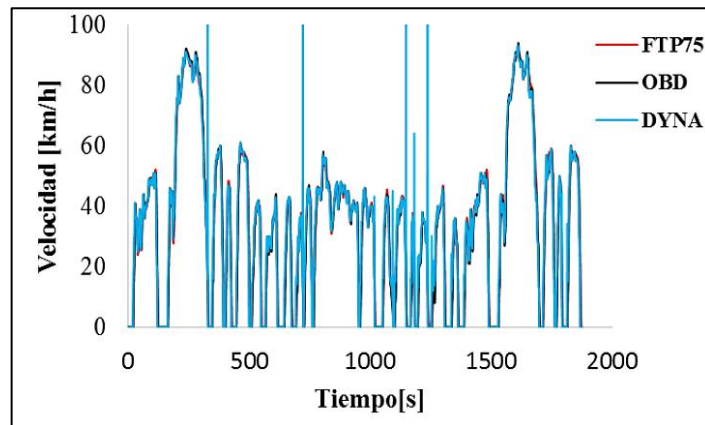


Ilustración 2-14: Ciclos de conducción.

Fuente: Tapia et al. 2017

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo se enfoca en el desarrollo de datos a partir de la experimentación que tuvo como objeto de estudio el consumo de combustible, torque y potencia de un MEP (Motor de Encendido Provocado), instalando una celda de hidrógeno. Para lo cual se llevó a cabo dos ensayos de consumo de combustible en ruta y 3 pruebas en el dinamómetro antes y después de la implementación del dispositivo anteriormente mencionado.

La obtención de datos para este estudio se realizó entre abril y agosto del año 2023 en la ciudad de Riobamba, realizando cinco pruebas por la ruta establecida, tomando en cuenta que se lleven a cabo bajo las mismas condiciones, en cuanto a los ensayos de torque y potencia se realizaron con las condiciones necesarias para que no arroje datos atípicos.

3.1 Tipos de investigación

En el presente trabajo de investigación se analizarán datos reales los cuales fueron obtenidos en las diferentes pruebas experimentales dando como resultado un enfoque cuantitativo a esta investigación, los datos obtenidos fueron sujetos a un análisis por medio de gráficas para posteriormente realizar la comparación de la variación del consumo de combustible y las curvas de torque y potencia, antes y después de colocar una celda de hidrógeno en el vehículo, en el presente trabajo de investigación se emplearon tres tipos de investigación los cuales fueron: investigación de campo, investigación analítica e investigación cuantitativa ya que fueron las más apropiadas para establecer la relación entre los datos y obtener los resultados deseados.

3.1.1 *Investigación de campo*

Sirve para la recolección de datos en tiempo real acerca de las pruebas de consumo de combustible como también para los ensayos de torque y potencia en el dinamómetro, con el fin de poder establecer la variación de estos parámetros, al implementar la celda de hidrógeno en el vehículo.

3.1.2 *Investigación analítica*

La investigación analítica ayudo a la comprobación de la hipótesis en conjunto con el análisis de los datos obtenidos de la variación de consumo de combustible, torque y potencia que presentó el vehículo antes y después de la instalación del generador de hidrógeno.

3.1.3 Investigación cuantitativa

Este tipo de investigación en conjunto con el análisis estadístico de los datos obtenidos con respecto al consumo de combustible, torque y potencia del vehículo sirvió para determinar el desempeño de la celda de hidrógeno en el MCI (Motor de Combustión Interna) para finalmente determinar cuál fue el rendimiento de dicha celda.

3.1.4 Esquema del marco metodológico

Establecimiento de las variables a medir en el vehículo	<ul style="list-style-type: none">• Selección del vehículo para efectuar las pruebas.• Verificación del estado del MCI (Motor de Combustión Interna) del automotor antes de la implementación de la celda de hidrógeno.• Instalación de la celda de hidrógeno en el vehículo.• Comprobación del estado del motor del vehículo después de implementar el generador de hidrógeno.• Selección y elaboración del electrolito.• Variable de entrada: La celda de hidrógeno para la ejecución de las dos pruebas.• Variables de salida:<ul style="list-style-type: none">❖ Prueba de torque medido en lb-ft y de potencia medida en Hp❖ Prueba dinámica de consumo dado en lt/km de combustible.
--	---



Norma SAE J1321:2012. Prueba de variación de consumo de combustible de forma dinámica	<ul style="list-style-type: none">• Elección de la ruta en el casco urbano de la ciudad de Riobamba.• Acoplamiento de un depósito de combustible adicional para la prueba.• Pesaje del combustible por medio de una balanza al inicio de cada una de las cinco pruebas de ruta.• Toma de datos en vivo de cada una de las 5 pruebas con la aplicación torque pro y un conector OBD II.• Pesaje del combustible por medio de una balanza al culminar de cada una de las cinco pruebas de ruta.• Obtención y análisis de los datos de consumo de combustible.
--	--



Norma SAE J1349 Prueba de Torque y Potencia al vehículo.	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación y anclaje del vehículo en el dinamómetro.• Conectar el equipo.• Verificación de la temperatura de funcionamiento de motor.• Realización de la prueba mediante la aceleración constante al vehículo.• Obtención de los datos del torque y la potencia.• Interpretación y análisis de los datos obtenidos.
---	---



Análisis de los datos obtenidos y validación de resultados.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis estadístico de las dos pruebas realizadas, antes y después de la implementación de la celda de hidrógeno mediante softwares como Excel y Minitab. • Encontrar la relación de los datos con una prueba estadística adecuada. • Validación o rechazo de la hipótesis planteada. • Presentación de resultados.
--	---

3.2 Operacionalización de las variables

3.2.1 Tipos de variables

Tabla 3-1: Definición de variables y su nomenclatura.

Parámetro	Nomenclatura
Sin Implementar la Celda de Hidrógeno	SICH
Implementada la Celda de Hidrógeno	ICH

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023

3.2.1.1 Variables independientes

- Celda de hidrógeno
- Altura
- Revoluciones por minuto (RPM)

Es una medida que se emplea para expresar la frecuencia o velocidad angular e indica las rotaciones por minuto a las que gira un cuerpo o componente. En los vehículos hace referencia al número de vueltas que realiza el cigüeñal. Además, en esta investigación fue empleada como variable para poder graficar las curvas de torque y potencia.

3.2.1.2 Variables dependientes

En la variación del consumo de combustible.

- gr/km (Masa)
- lt/km (Volumen)

Para la prueba de torque y potencia

- Potencia en Hp (Caballos de fuerza)
- Torque lb/ft

En esta investigación se tomó como prioridad las variables dependientes, como es el caso del torque medido en lb-ft y la potencia en Hp respectivamente para así poder determinar el

rendimiento del motor. En cuanto al consumo de combustible se consideró expresar en gr/km y lt/km al estar y no está instalada la celda de hidrógeno.

Se realizó el análisis de los datos aplicando la técnica de T de Student que permitirá el análisis del comportamiento de las variables.

3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

3.3.1 Selección del vehículo

En el país el parque automotriz no es muy grande en comparación con otros países de Sudamérica, en el año 2021 se registró 2.5 millones de vehículos que han sido matriculados en todo el Ecuador, teniendo así un estimado del 5,6% de crecimiento desde el 2012 hasta el 2021, y del año 2020 al 2021 un crecimiento del 7.6%, siendo así el 29.5% los automotores de clase livianos registrados en este año (INEC, 2022, pp. 6-12).

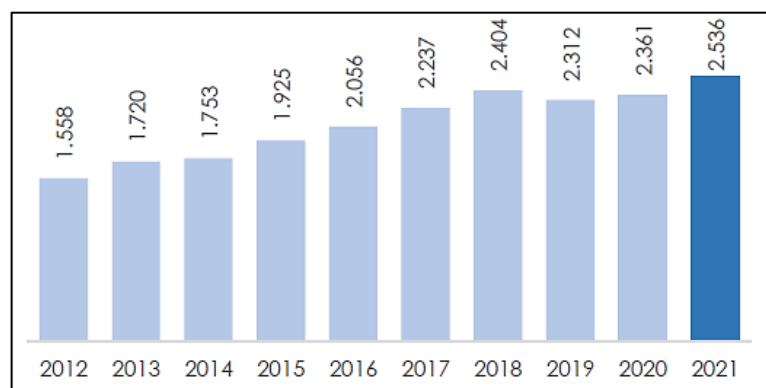


Ilustración 3-1: Número de vehículos motorizados matriculados (miles), periodo 2021.

Fuente: INEC, 2022

Por otra parte también se consideró la cantidad de vehículos vendidos en el Ecuador en el último año donde se obtuvo un registro por marcas, siendo la marca Chevrolet quien predominó el mercado con 17.60% de las ventas, la segunda marca más vendida en el país fue Kia que alcanzó un 14.44% de ventas en el año, en el tercer lugar predominó la marca Toyota con un 7.30% de las ventas y en cuarto lugar la marca Hyundai que tuvo una venta del 6.10% de las ventas totales del año (AEADE, 2022).

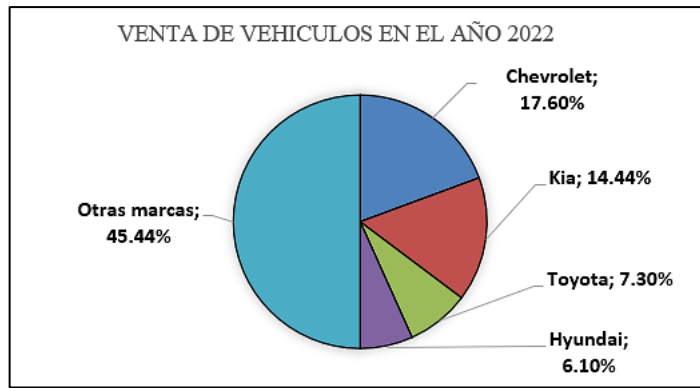


Ilustración 3-2: Venta de vehículos en Ecuador 2022.

Fuente: AEADE, 2022

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Las ventas registradas de vehículos en el país desde el año 2000 hasta el 2022 ha tenido severos cambios año tras año sin embargo en el año 2008 se registra una venta de 112 608 vehículos vendidos en ese año, lo que significa también un año de evidente crecimiento en cuanto a ventas de automóviles y una media de las ventas de 111770.188 (AEADE, 2022).

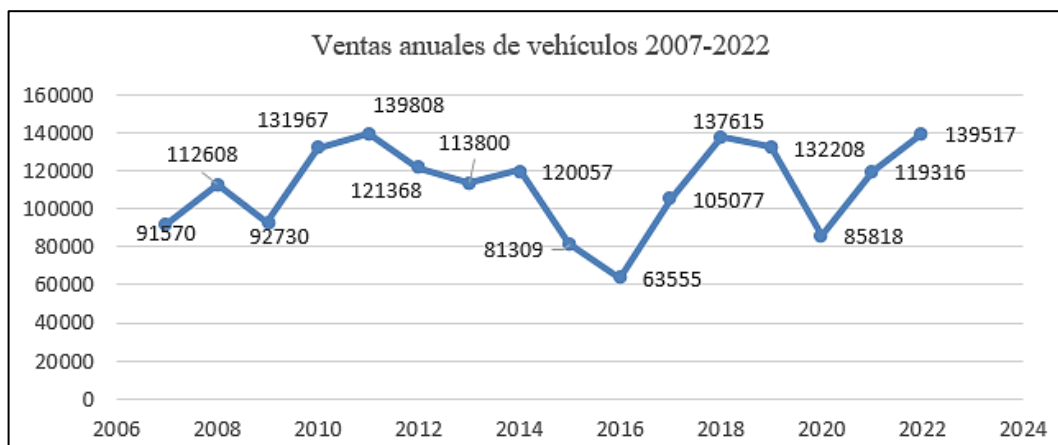


Ilustración 3-3: Ventas anuales de vehículos 2007-2022.

Fuente: AEADE, 2022

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Los datos anteriormente analizados ayudaron para la elección del vehículo, perteneciendo a la cuarta marca más vendida en el último año que cuenta con un motor de 1.6 litros del año 2008 hatchback para efectuar cada una de las pruebas que tiene por destino el presente trabajo de investigación ya que es una marca de bastante aceptación y fiabilidad en el país.



Ilustración 3-4: Vehículo seleccionado.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas del vehículo.

Tipo	Hatchback
Año de fabricación	2008
Motor	4 cilindros en línea DOCH (Doble árbol de levas en la Culata)
Cilindrada	1599 centímetros cúbicos
Capacidad de tanque	45 litros
Transmisión	Manual, tracción delantera
Potencia máxima	106 hp @ 5800 [RPM]
Torque máximo	144 Nm @ 3200 [RPM]
Peso del vehículo	1 132 kg
Neumáticos	185/55/R15
Tipo de inyección	Electrónica indirecta multipunto.

Fuente: CARSOPEDIA, 2020.

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023

3.3.2 *Determinación del electrolito*

Es una sustancia que contiene iones libres por lo tanto es necesario saber la composición que tendrá el electrolito para mejorar la conductividad dentro de la celda de hidrógeno y así optimizar su producción, en la industria automotriz se aprovecha este gas para aumentar la autonomía del vehículo (Duque & Masaquiza, 2013: pp.15-21).

El electrolito se disuelve de forma completa o parcialmente en agua lo que da como resultado la capacidad de conducir una corriente eléctrica, el electrolito es fuerte si se disocia con facilidad caso contrario la solución es débil (Duque & Masaquiza, 2013: pp.15-21).

Para la selección del electrolito que se usó en el generador de hidrógeno se eligió el agua con menor cantidad de TDS (Total de Sólidos Disueltos) que es una medida de la materia en una muestra de agua que permite determinar la cantidad de todos los metales, minerales y sales.

Esto se realizará con el instrumento que permite medir la calidad de agua de la marca HoneForest modelo YL-TDS2-A que presenta las siguientes características:



Ilustración 3-5: HoneForest YL-TDS2-A.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Tabla 3-3: Especificaciones del HoneForest YL-TDS2-A.

Marca	HoneForest.
Modelo	YL-TDS2-A
Norma de calidad	ISO 9001
TDS (Total de Sólidos Disueltos)	0 - 9999 PPM (Partes Por Millón)
Conductividad	0 - 9999 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Temperatura	0.1 - 50.0 °C 32.0 – 122.0 °F
Exactitud	$\pm 2\%$ F.S (Fondo de Escala)
Peso	42 g
Tamaño	160x29x15 mm

Fuente: HoneForest, 2023

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023





En este caso se consideró dos tipos de agua: una comercial apta para el consumo humano ya que el fabricante de la celda de hidrógeno recomienda usar este tipo de agua, y otra destilada.



Ilustración 3-6: Muestras de aguas.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Tabla 3-4: Prueba de la calidad de agua.

PRUEBA DE CALIDAD DE AGUA			
PARAMETROS	Agua Normal	PARAMETROS	Agua Destilada
TDS (Total de sólidos disueltos)	 <p>4 PPM</p>	TDS (Total de sólidos disueltos)	 <p>33 PPM</p>
Conductividad	 <p>8 $\mu\text{s}/\text{cm}$</p>	Conductividad	 <p>70 $\mu\text{s}/\text{cm}$</p>

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Una vez realizadas las pruebas de TDS (Total de sólidos disueltos) y conductividad de las dos muestras, se seleccionó el agua destilada debido a que tiene mejor conductividad eléctrica (tiene 62 $\mu\text{s}/\text{cm}$ que el agua convencional) siendo este indicador muy importante para el proceso de la electrólisis que es el principio por el cual funciona el generador de hidrógeno.

3.3.3 *Elaboración del electrolito*


Se seleccionó el soluto a usarse para elaborar el electrolito, el cual fue NaHCO_3 (Bicarbonato de Sodio) con un grado de pureza del 100%, menor cantidad de calcificaciones en el electrolito y una buena conductividad, luego de esto se mezcló 380 ml del agua seleccionada y 1 oz de NaHCO_3 , se procedió a dejar reposar por 24 horas para una mejor concentración de la solución y posteriormente efectuar la prueba de TDS y conductividad.



Ilustración 3-7: Elaboración del electrolito.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 3-5: Prueba de calidad del electrolito.

PRUEBA DE CALIDAD DEL ELECTROLITO ELABORADO	
TDS (Total de sólidos disueltos)	 <p style="text-align: center;">2529 PPM</p>



Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.4 Selección del combustible para las pruebas

La empresa pública Petroecuador en su último boletín acerca de la venta de hidrocarburos en nuestro país referente al año 2022 registró una venta de 29'547,065 barriles de los combustibles que se expenden en el Ecuador, haciendo énfasis en los tres tipos de gasolina más conocidos que son: Super con una venta de 1'389,802 barriles, Extra con un total de 13'281,724 barriles y finalmente la Ecopaís con un valor de 14'559,986 barriles (EP-PETROECUADOR, 2023: pp.44-50). Por esta razón se seleccionó la gasolina extra para este trabajo de investigación, debido a que fue la más vendida en todo país.

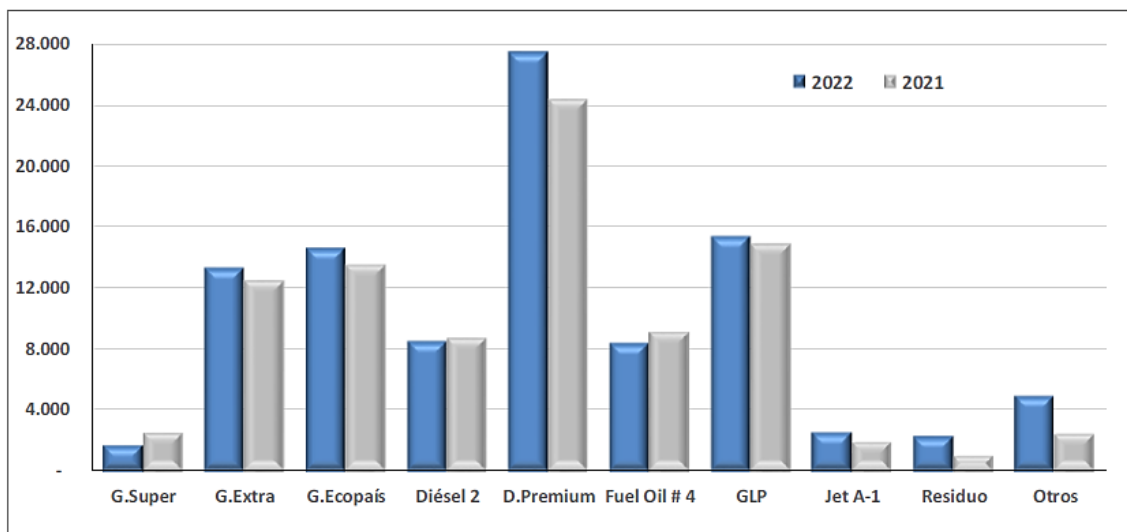


Ilustración 3-8: Despachos totales de derivados 2022.

Fuente: EP-PETROECUADOR, 2023

3.3.5 Determinación de la ruta de prueba

Las pruebas de campo referentes al consumo de combustible se realizaron en una ruta urbana en su totalidad y cubriendo la circunvalación de la ciudad con una distancia estimada de 17,1 Km, la cual tuvo como punto de inicio la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo específicamente en el parqueadero que se ubica junto a la Asociación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz para luego tomar la Av. Milton Reyes, girando a la derecha en la Av. 11 de Noviembre y a continuación seguir por la Av. Pedro Vicente Maldonado con dirección hacia el centro de la ciudad, llegando a un semáforo, se giró levemente a la derecha para abordar la Av. 9 de Octubre sin cambiar de rumbo, posteriormente toma el nombre de la Av. Edelberto Bonilla Oleas hasta llegar al redondel de la Vasija y seguir derecho hasta la estación de servicio Primax y girar hacia la derecha por la Av. Antonio José de Sucre para a continuación llegar al semáforo del Centro comercial Paseo Shopping Riobamba, tomar la calle Begonias hasta llegar al cruce con la calle Cap. Edmundo Chiriboga y avanzar hasta a la intersección con la calle Río Paute y proseguir por la misma hasta llegar al redondel, virar hacia la izquierda llegando al redondel para circunvalarlo y salir por la Av. Gonzalo Dávalos para llegar nuevamente a la Av. 11 de Noviembre y retornando así al lugar de inicio de la ruta, en la cual se realizó cinco vueltas para cada una de las variables planteadas SICH e ICH.



Ilustración 3-9: Ruta establecida en la ciudad de Riobamba.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.5.1 Ciclo de conducción para la prueba

La ruta establecida fue sustentada mediante la elaboración de un ciclo representativo de la misma, esto con la finalidad de corroborar que el trayecto establecido fue netamente urbano permitiendo recolectar datos durante cada una de las pruebas dinámicas de consumo.

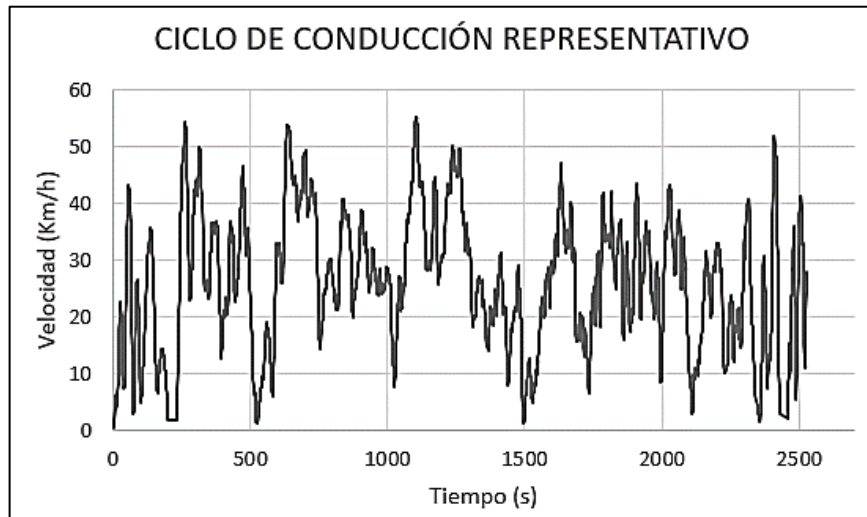


Ilustración 3-10: Ciclo representativo de la ruta.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 3-6: Parámetros del ciclo de conducción.

Duración	2526 segundos.
Distancia	17,1 km
Velocidad media	26,73 km/h
Velocidad máxima	55,16 km/h

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.6 Recolección de datos a bordo

3.3.6.1 Aplicación Torque Pro

Se empleó la aplicación móvil “Torque Pro” que fue comprada en Play Store, la cual permitió la recolección de los datos en tiempo real con la ayuda de un conector inalámbrico OBD II el cual se conectó al vehículo en el que se realizaron las diferentes pruebas de consumo de combustible. Esta aplicación permite que el smartphone establezca comunicación con el OBD (Diagnóstico a Bordo) del vehículo para obtener información en vivo de ciertos parámetros del motor tales como:

RPM, códigos de avería presentes, velocidad, aceleración, temperatura y otras funciones (Alviz, 2014).



Ilustración 3-11: Interfaz Torque Pro.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.6.2 Conector ELM 327 OBD II

El conector OBD II se trata de un nuevo escáner automotriz multimarca compatible únicamente con los sistemas operativos Android y Windows, utilizando la interfaz ELM 327 y se usó con la aplicación Torque Pro, permite el diagnóstico del vehículo mediante la lectura de códigos genéricos, como también la obtención de la información de la ECU (Unidad de Control del Motor) del vehículo, accediendo a los archivos generados por la aplicación los mismos que cuentan con la extensión “.csv” para su posterior análisis en el ordenador (Electroimpo, 2023).



Ilustración 3-12: Conector OBD II ELM 327.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023

Tabla 3-7: Especificaciones técnicas conector ELM 327.

Marca	HH OBD Advanced
Conexión	Inalámbrica (Bluetooth)
Software	V 2.1
Hardware	V 1.5
Protocolos de comunicación	<ul style="list-style-type: none">• SAE J1850 PWM.• SAE J1850 VPW.• ISO 9141-2.• ISO 14230-4 KWP.• ISO 14230-4 KWP• Norma ISO 15765-4 CAN
Tipo de interfaz	Auto ELM 327
Peso neto	0,01 kg

Fuente: Electroimpo, 2023

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.7 Depósito externo para medición de consumo de combustible en pruebas

Cumpliendo con la norma SAE J1321 se implementó un depósito de combustible adicional con su respectiva bomba de impulsión de gasolina de características idénticas a la que posee el vehículo, es decir cuatro bares de presión con su instalación eléctrica para luego ser sumergida en un recipiente tipo galón con 1.5 galones de combustible para cada una de las pruebas.

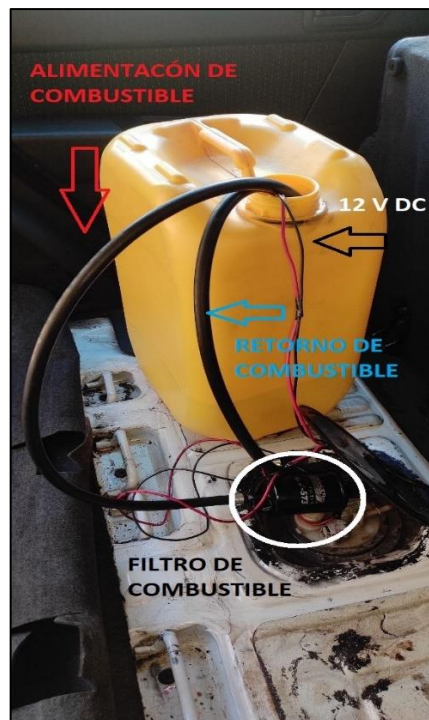


Ilustración 3-13: Depósito portátil de combustible.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.8 Dinamómetro de rodillos

Para las pruebas de torque y potencia se empleó el dinamómetro de rodillos de la marca Dynocom modelo DC 5000-FX.



Ilustración 3-14: Dynocom AWD 5000-FX.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 3-8: Especificaciones técnicas Dynocom AWD 5000-FX.

Peso máximo por eje	6500 lb
Caballos de fuerza máximos	2250+hp
Velocidad máxima	175+mph (AWD hasta 155 MPH)
Rango de seguimiento del vehículo	16" (mínimo interior) – 86" (máx.)
Distancia entre ejes máxima	86"
Distancia entre longitud de ejes	96" – 112" a 3 rodillos estándar
Longitud de la distancia entre ejes	83" – 122" a 4 rodillos opcionales
Torsión máxima en estado estable	2 200 pie-lb por retardador
Torque dinámico máximo	10 000 lb-pie por cada eje.
Requerimientos eléctricos	220/240V AC a 25 A.
Requisitos de ventilación	90 psi a 4,5 CFM (kit de elevación de bolsa de aire)
Precisión de temporización	+/-0,1µs
Precisión de la velocidad del tambor	+/-1/1000th MPH
Precisión de RPM	+/-1/100 RPM

Fuente: DYNOCOM INDUSTRIES INC, 2021.

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.9 Balanza digital CAMRY EK3252

Con la balanza CAMRY EK3252 se realizó cada uno de los pesajes del depósito externo instalado tanto al inicio como al final de cada prueba, la cual cuenta con una precisión de +- 4gr. realizando cada uno de los pesajes en la unidad de gramos.



Ilustración 3-15: Balanza digital CAMRY EK3252.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 3-9: Especificaciones técnicas de la balanza CAMRY EK3252.

Marca	CAMRY
Modelo	EK3252
Capacidad	5kg (11 Lb)
Procedencia	China
Fuente de energía	2 baterías AAA
Certificación de calidad	ISO-9001
Precisión	+/- 4g
Material	Plástico
Color	Gris
Peso	594 g
Medidas	Largo 23,5 cm Ancho 16 cm Alto 5,5 cm
División	1g/0.05 oz

Fuente: La Cobacha, 2023.

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.3.10 Escáner automotriz MUCAR BT200

Es una herramienta automotriz que permite el diagnóstico a bordo a partir de fallas electrónicas o DTC (Código de Avería) almacenadas en la ECU (Unidad de control del motor) del vehículo, y además de la visualización de datos en vivo de los sensores (DERCO CENTER, 2022). Para el presente tema de investigación se utilizó para medir la variación del voltaje en el sensor MAP (Sensor de Presión Absoluta).



Ilustración 3-16: Escáner automatizado MUCAR BT200.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 3-10: Especificaciones técnicas escáner MUCAR BT200.

Marca	MUCAR
Modelo	BT200
Alimentación	12 v
Corriente de trabajo	≤ 60 mA.
Versión de bluetooth	BT4.2
Dimensiones	60 x 48,5 x 22,5
Peso	0,2 kg

Fuente: MUCAR, 2023.

Realizado por: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.4 Implementación de la celda de hidrógeno en el vehículo

3.4.1 Protocolo de instalación de la celda de hidrógeno

3.4.1.1 Acoplamiento del generador en el compartimiento del motor

Para la implementación del generador de hidrógeno en el vehículo que previamente fue seleccionado hay que considerar las siguientes indicaciones:



Ilustración 3-17: Implementación de la celda de hidrógeno.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

- Inspeccionar el espacio disponible en el compartimiento del motor para poder colocar el generador de hidrógeno, teniendo en cuenta que no debe estar cercano a lugares como el radiador ya que genera mucho calor y a partes móviles que pueda causar daños, para este caso se utilizó correas plásticas para asegurarlo en la carrocería.
- Ubicar todas las mangueras que ingresan al múltiple de admisión, teniendo en cuenta que la alimentación del hidrógeno tiene que ser después del cuerpo de aceleración, en este caso fue la manguera que sale de la válvula PCV (Válvula Positiva de ventilación de gases del Carter) hacia el colector de admisión.
- La manguera que conduce el hidrógeno desde el generador hacia un acople tipo T es de medida 6 mm la cual luego se conectó con la válvula PCV y finalmente a otra manguera que tenía una medida de 5/16” para así llegar al múltiple.
- Verificar que no existan fugas de aire tanto en los reductores de manguera, acoples y abrazaderas que se utilizaron en la instalación.

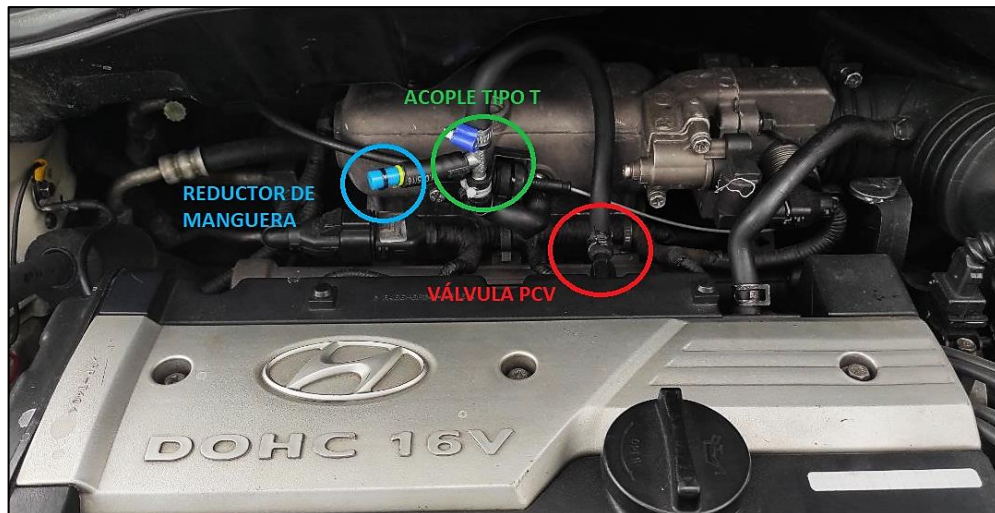


Ilustración 3-18: Acoplamiento de mangueras.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.



Ilustración 3-19: Celda de hidrógeno acoplada en la carrocería.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.4.1.2 Instalación eléctrica de la celda de hidrógeno.

El generador de hidrógeno funciona a partir del voltaje de batería, pero tiene un regulador que tiene la finalidad de reducir de 12 a 5 voltios para precautelar la integridad del empaque del cabezote, ya que el hidrógeno al ser de alta inflamabilidad causaría explosiones muy fuertes dañando así dicha junta.

Para el funcionamiento de la celda de hidrógeno es necesario una instalación eléctrica la cual se realizó de la siguiente manera:

- Inspeccionar el diagrama eléctrico de la caja de fusibles y relés de la batería para así poder determinar un fusible que funcione con los accesorios del vehículo y así en caso de tener un cortocircuito no comprometer la celda de hidrógeno y a otros componentes eléctricos del vehículo, en este caso se procedió a seleccionar el fusible que corresponde al encendedor de cigarrillos que es de 25 A.

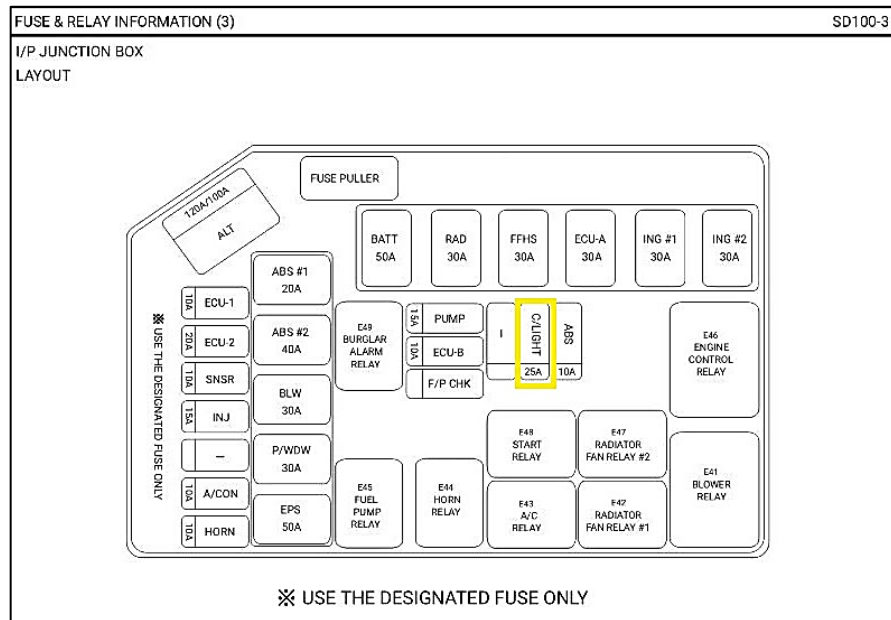


Ilustración 3-20: Diagrama de fusibles de la batería del auto en estudio.

Fuente: Hyundai, 2022.

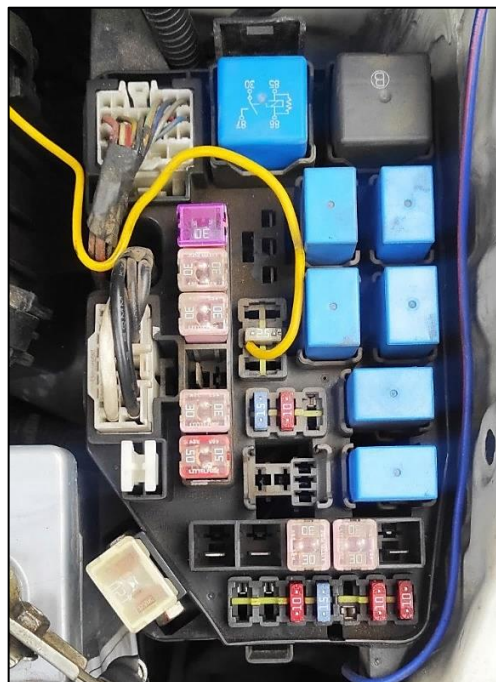


Ilustración 3-21: Instalación eléctrica.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Esta instalación se la realizó con la finalidad de que la celda de hidrógeno no esté trabajando todo el tiempo si no únicamente cuando el vehículo está en estado de KOEO (Llave en Switch Motor Apagado).

- Finalmente conectar al regulador la alimentación tomada desde el fusible del encendedor de cigarrillos al positivo del regulador y la tierra de este a chasis.



Ilustración 3-22: Instalación completa de la celda de hidrógeno.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

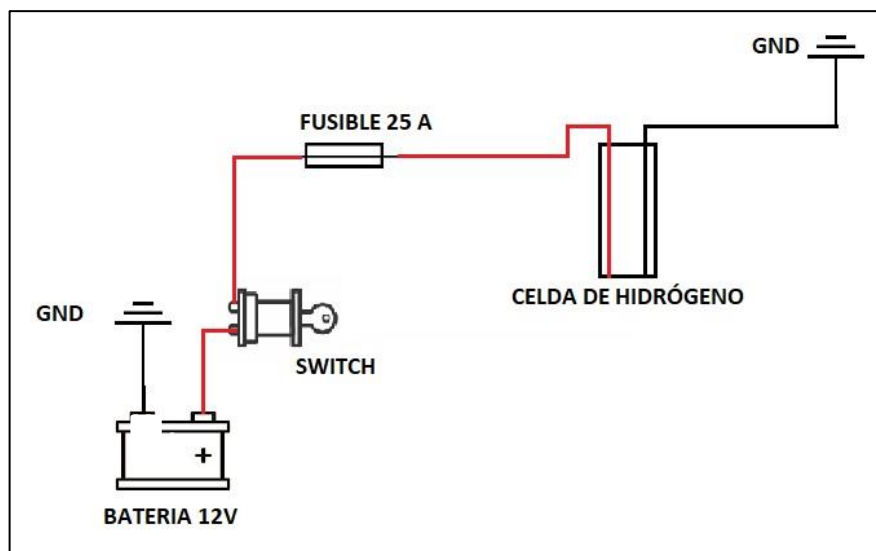


Ilustración 3-23: Esquema eléctrico de la instalación.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

3.4.2 Protocolo de consumo de combustible con la norma SAE J1321: 2012

- La balanza debe permanecer fija para tener una mejor exactitud en los pesajes.
- El tanque externo de combustible debe contener el doble de la cantidad que se consume en una vuelta y que sea de fácil montaje y desmontaje esto con la finalidad de realizar la prueba de ruta sin ningún problema, teniendo en cuenta que se debe iniciar y terminar en el mismo punto.
- La norma recomienda que la variación de la velocidad tenga un error de hasta 0.1 km/h, para lo cual se lo midió con la aplicación Torque Pro en conjunto con el conector ELM 327 y de igual manera la distancia de la ruta establecida.
- Se debe realizar a la misma hora y bajo las mismas condiciones climáticas para que no se presente variaciones en el pesaje como también en la toma de datos.

3.4.3 Protocolo de torque y potencia

La prueba de torque y potencia se la realizó en el dinamómetro Dynocom AWD 5000 FX el cual cumple con la norma SAE J1349 con la cual se puede certificar que las pruebas realizadas son fiables y que facilitaron la obtención de los datos de cada una de las pruebas.

- El primer paso es ubicar el vehículo en el dinamómetro, para ello hay que realizar una inspección del estado de los rodillos y que no exista artículos que impidan su movimiento para finalmente asegurarlo con las cintas de anclaje.
- Conectar la interfaz OBD II del equipo para obtener la información del tacómetro del vehículo en tiempo real.
- Comprobar que la temperatura del motor se encuentre en condiciones normales de operación.
- Acelerar el vehículo para realizar el cambio de marcha a marcha es decir desde primera hasta quinta velocidad para obtener las curvas características del motor.
- Los datos que generalmente se obtienen son con factor el cual abarca condiciones ideales de funcionamiento, para este estudio se consideró usar los datos sin factor ya que así los resultados fueron más apegados a las condiciones que se tiene en la ciudad de Riobamba.

3.5 Técnicas de análisis de resultados

Los datos obtenidos en las pruebas dinámicas fueron analizados a través de softwares estadísticos como son Excel y Minitab.

3.5.1 Excel

Es una hoja de cálculo que permite el análisis y visualización de grandes cantidades de datos numéricos y de texto, así como también ejecutar operaciones matemáticas sencillas, generar gráficos y tablas dinámicas (Excel Para Todos, 2023). Razón por la cual esta herramienta fue la que mayormente se utilizó en este trabajo de investigación.

3.5.2 Minitab

Este software que permite controlar y mejorar los resultados de las pruebas obtenidas mediante gráficos, tablas, diagramas, histogramas y pruebas de hipótesis es por ello por lo que se utiliza para el análisis estadístico de todo tipo de sectores (Técnicas de Control Metrológico, 2022).

3.5.3 Modelo estadístico T de Student.

La prueba T o T de Student es una herramienta estadística que permite determinar si existe diferencias considerables entre valores numéricos agrupados la cual fue desarrollada en el año de 1908 por el estadístico británico William Sealy Goset y desde ese entonces es una de las pruebas más utilizadas en la investigación científica y de mercado ya emplea un tamaño de muestra menor a 30 datos (Ortega, 2023).

Para realizar esta prueba hay que seguir los siguientes pasos según Ortega (2023):

1. Definir la hipótesis la cual es aceptada cuando sus medias son iguales y la nula cuando las medias difieren entre sí.
2. Calcular la media, la desviación estándar y el tamaño de la muestra para cada grupo.
3. Determinar el valor crítico de t por lo general $p > z$
4. Comparar el valor calculado de t con el valor crítico de t. Si el valor calculado de t es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Si el valor calculado de t es menor que el valor crítico, no se puede rechazar la hipótesis nula.
5. Interpretar los resultados.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos que se obtuvieron a partir de las diferentes pruebas realizadas fueron organizados por medio de tablas y con su respectivo gráfico para posteriormente ser analizados y comparados.

4.1 Consumo de combustible

La prueba se llevó a cabo bajo la ruta establecida que tuvo una distancia de 17.1 km aproximadamente la cual fue verificada en el odómetro del vehículo y en el registro de datos mediante la aplicación Torque Pro, se consideró que el conductor en cada una de las pruebas fue alternado debido a que cada persona tiene diferente estilo de conducción, esto con la finalidad de tener datos cercanos a una conducción normal en la ruta establecida en la ciudad de Riobamba.

Tabla 4-1: Datos obtenidos de las pruebas de consumo de combustible.

	PRUEBA	DURACION DE LA PRUEBA (minutos)	PESAJE INICIAL (gramos)	PESAJE FINAL (gramos)	CONSUMO (gramos)
SICH	1	37	4207	2272	1435
	2	41	4207	2904	1303
	3	47	4208	2807	1401
	4	40	4209	2848	1361
	5	44	4209	2953	1256
ICH	1	42	4208	2803	1405
	2	42	4027	2763	1264
	3	38	4208	2567	1641
	4	38	4206	2781	1425
	5	40	4210	2872	1338

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.



Ilustración 4-1: Pesaje de combustible.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.1 *Análisis de la prueba dinámica de consumo de combustible.*

En la Tabla 4-2, se muestra los valores de consumo y su promedio sin implementar la celda de hidrógeno en el automotor con una media de 1351,2 gramos lo que equivale a 1,35 litros de combustible consumido en la prueba de ruta establecida.

Tabla 4-2: Consumo de combustible SICH.

SICH (Sin Implementar la Celda de Hidrógeno)			
Prueba	Consumo (g)	Consumo (l)	Consumo (gal)
1	1435	1,43	0,38
2	1303	1,30	0,34
3	1401	1,40	0,37
4	1361	1,36	0,36
5	1256	1,26	0,33
Media	1351,2	1,35	0,36

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Teniendo así un promedio de consumo de 0,079 litros por cada kilómetro recorrido.

De igual manera en la Tabla 4-3, que se muestra a continuación son los datos obtenidos pero esta vez implementada la celda de hidrógeno con una media de 1414,6 gramos lo que equivale a tener 1,41litros de gasolina consumida en el mismo trayecto.

Tabla 4-3: Consumo de combustible ICH.

ICH (Implementada la Celda de Hidrógeno)			
Prueba	Consumo (g)	Consumo (l)	Consumo (gal)
1	1405	1,40	0,37
2	1264	1,26	0,33
3	1641	1,64	0,43
4	1425	1,42	0,38
5	1338	1,34	0,35
Media	1414.6	1,41	0,37

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

El promedio de consumo al instalar la celda cambio de 0,079 a 0,083 litros/km.

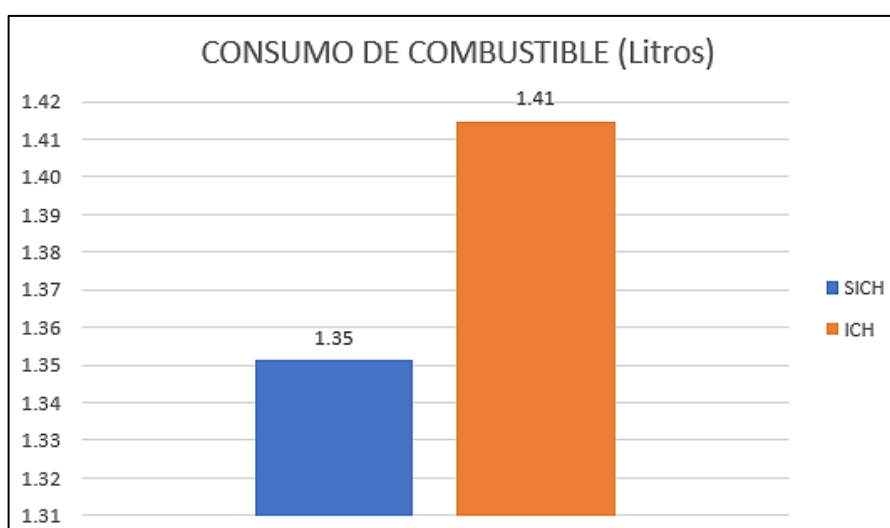


Ilustración 4-2: Variación de consumo de combustible en litros.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 4-4: Prueba T de Student para el consumo de combustible.

PARÁMETROS	SICH	ICH
Numero de muestras	5	5
Media	1351,2	1415
Desviación estándar	72,4	141
Valor t	-0,89	
Valor p	0,413	

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.1.1 Discusión

El consumo de combustible se vio incrementado mínimamente al implementar la celda de hidrógeno en el vehículo, el aumento fue de 63,4 gramos equivalente a 0,017 galones y en litros con un valor de 0,063, determinado así que la celda de hidrógeno implementada no redujo el

consumo, debido a que el hidrógeno es otra fuente combustible y en conjunto con la gasolina extra que al combinarse en el proceso de la combustión hace que el motor se encuentre funcionando solo en mezcla rica, es decir con un exceso de combustible. Al tener un valor de P de 0,413 se procede a aceptar la hipótesis nula.

4.1.2 Análisis del torque

En la Tabla 4-5, se muestran los resultados obtenidos antes y después de implementar la celda de hidrógeno con la finalidad de comparar los valores del torque y así verificar el comportamiento del motor.

Tabla 4-5: Prueba de torque.

	Prueba	Torque (Nm)	Media (Nm)
SICH	1	90.22	91.03
	2	92.74	
	3	90.13	
ICH	1	91.9	93.58
	2	91.91	
	3	96.94	
			+ 2.55

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

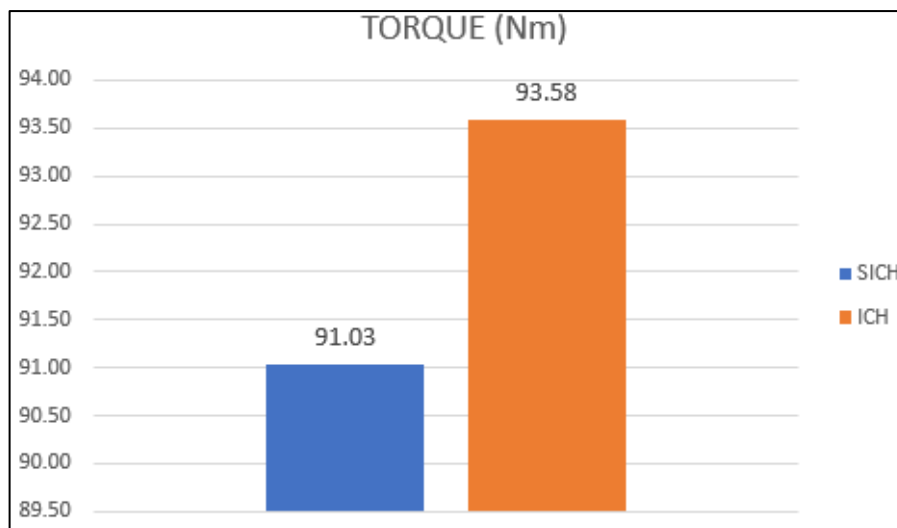


Ilustración 4-3: Gráfico de barras de la variación del torque.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

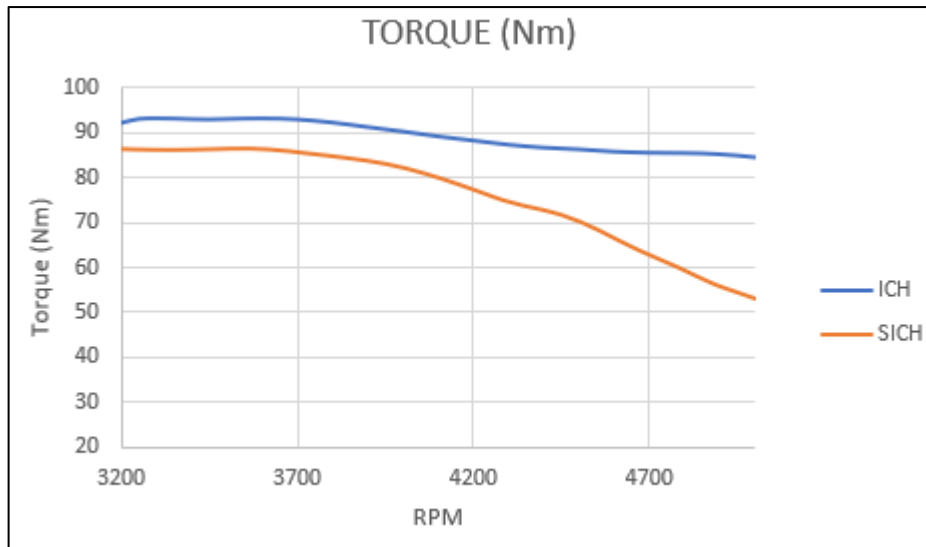


Ilustración 4-4: Variación del torque con la celda de hidrógeno implementada.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 4-6: Prueba T de Student para el Torque.

PARÁMETROS	SICH	ICH
Numero de muestras	3	3
Media	91.03	93.58
Desviación estándar	1,09	2,14
Valor t	-1,35	
Valor p	0,309	

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.2.1 *Discusión*

Los datos obtenidos a partir de las diferentes pruebas ejecutadas evidenciaron que, con la instalación de la celda de hidrógeno en el vehículo este presentó una ganancia mínima de 1,88 lb-ft o a su vez 2,55 Nm en cuanto al rendimiento del motor. Afirmando así que la celda de hidrógeno si aumentó levemente el torque, pero con el valor de P que fue de 0,309 se procede aceptar la hipótesis nula.

4.1.3 *Potencia*

En cuanto a la potencia, en la Tabla 4-7, se presentan los resultados obtenidos antes y después de instalar el generador de hidrógeno en el vehículo y así poder contrastar el rendimiento del motor.

Tabla 4-7: Prueba de potencia.

	Prueba	Potencia (Hp)	Media (Hp)
SICH	1	49,74	51,88
	2	53,59	
	3	52,32	
ICH	1	59,08	60,90
	2	60,91	
	3	62,7	
			+ 9,01

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

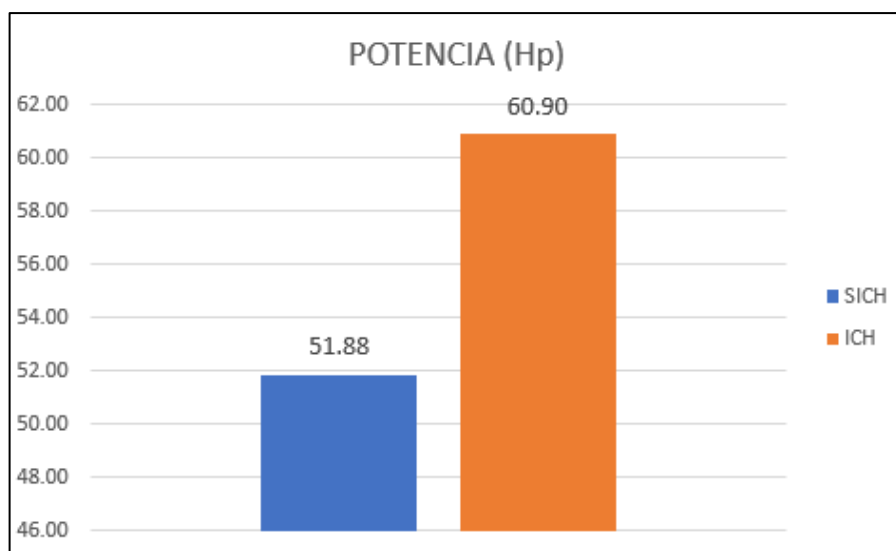


Ilustración 4-5: Gráfico de barras de la variación de la potencia

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

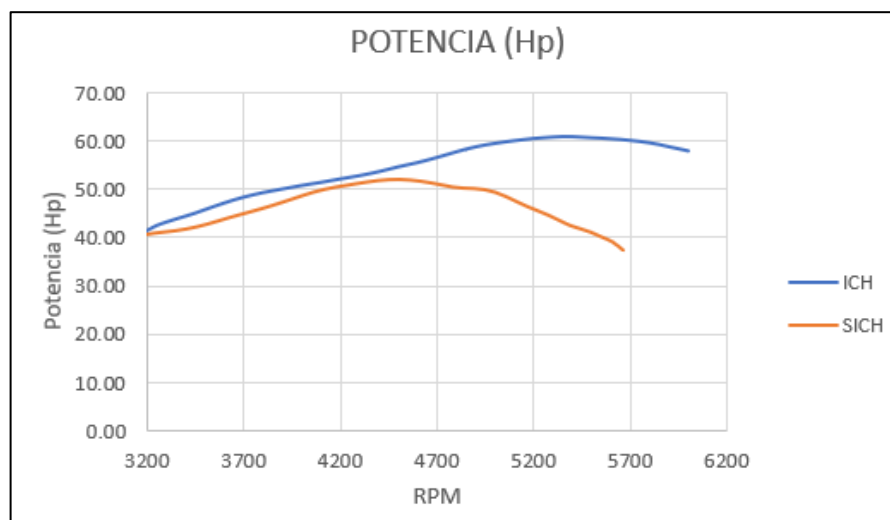


Ilustración 4-6: Variación de la potencia con la celda de hidrógeno implementada.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

Tabla 4-8: Prueba T de Student para la Potencia.

PARÁMETROS	SICH	ICH
Numero de muestras	3	3
Media	51,88	60,90
Desviación estándar	1,96	1,91
Valor t	-5,85	
Valor p	0,010	

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.3.1 Discusión

En las diferentes pruebas se verificó que con la instalación de la celda de hidrógeno se produjo un incremento de 9,01 Hp comprobando así que, al aumentar el torque la potencia también lo hará debido a que son parámetros del motor que tienen una relación directamente proporcional, tomando en cuenta que en la prueba T de Student se obtuvo un valor de P de 0,010 siendo inferior al 5% de error establecido, se acepta la hipótesis.

4.1.4 Comparación de las curvas características obtenidas del motor de combustión

En la Ilustración 4-7, se observa la variación del torque y potencia tanto con la celda de hidrogeno implementada como también sin la implementación de esta, en donde se puede apreciar un aumento mínimo del par motor y en cuanto a la potencia un aumento significativo.

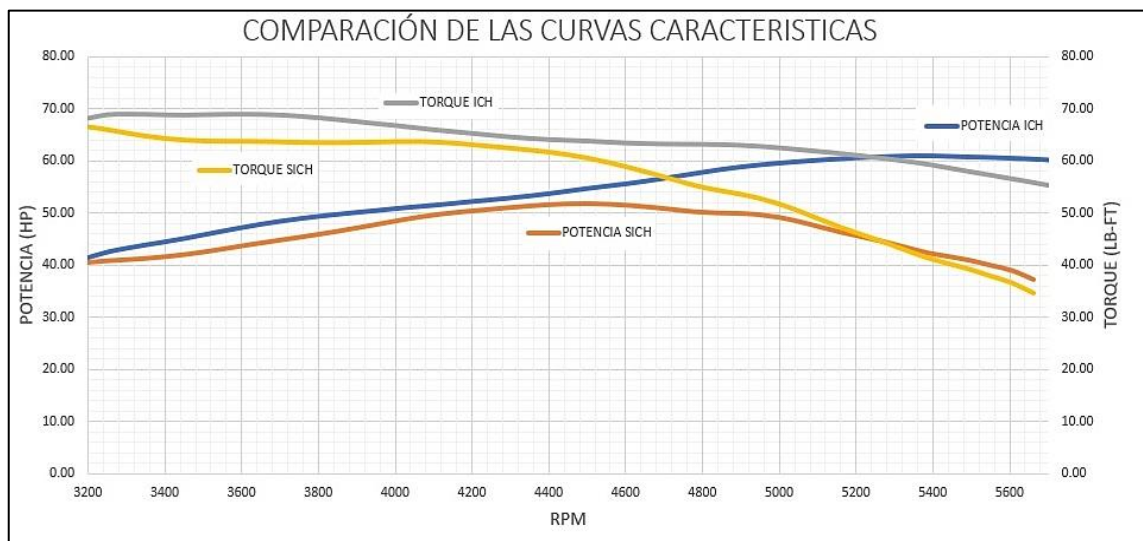


Ilustración 4-7: Curvas del motor con las variables SICH e ICH.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.5 Sensor MAP

La variación de voltajes registrados en el escáner automotriz se los muestra en la Tabla 4-9, con lo cual se puede determinar la variación de la presión del colector de admisión y así verificar el funcionamiento de la celda de hidrógeno.

Tabla 4-9: Prueba del sensor MAP.

SENSOR CONECTADO	KOEO	2.85 (V)		72.164 (KPa)	
SENSOR DESCONECTADO		4.992 (V)			
		SICH		ICH	
		Voltaje (V)	Presión (KPa)	Voltaje (V)	Presión (KPa)
Ralentí		0.913	24.227	0.981	32.887
2000		0.747	19.469	0.752	28.312
WOT		0.956	25.328	1.01	26.762

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.



Ilustración 4-8: Lectura del sensor MAP con el escáner.

Fuente: Chonata J. & Ocaña H., 2023.

4.1.5.1 Discusión

El sensor presentó una mayor variación en la resistencia de la membrana interna generando así un aumento de la tensión y de la presión en el múltiple de admisión, comprobando de esta manera que la celda si está suministrando hidrógeno cada vez que se pise el pedal del acelerador.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1 Propuesta

La celda de hidrógeno al ser una tecnología automotriz que busca mejorar el consumo de combustible y el rendimiento del motor variando la relación de la mezcla estequiométrica de la combustión, al ser implementada en un vehículo que cuenta con las siguientes características: cilindrada 1,6 litros, año 2008 tipo hatchback se propone realizar una variedad de investigaciones en diferentes ciudades cambiando así la altitud como también en rutas ya no netamente urbanas si no también carreteras interestatales, de la misma manera se plantea realizar el estudio de emisiones contaminantes, como también la investigación en motores MEC (Motor de Encendido por Compresión) y a carburador.

Con la variación de la cilindrada del vehículo también se debe tener en cuenta el número de generadores a instalarse, por ejemplo, de 1000 a 2000 cc se necesita un generador y de 2000 cc en adelante se necesitarán dos o más generadores.

CONCLUSIONES

- El generador de hidrógeno implementado es de tipo celda húmeda que basa su funcionamiento en el proceso de la electrólisis el mismo que se da al suministrar un voltaje de corriente continua en los electrodos de dicha celda, provocando así que el electrolito se disocie en iones de hidrógeno y de oxígeno presentes en la mezcla del agua destilada junto con el bicarbonato de sodio, el cual mejora la conductividad del electrolito, finalmente el hidrógeno producido será transportado por una válvula que se encuentra en la parte externa superior del generador de hidrógeno y que será succionado hacia el múltiple de admisión cada vez que se accione el pedal del acelerador.
- El generador de hidrógeno fue instalado en una parte del compartimiento del motor donde no exista la presencia excesiva de temperatura, ya que el electrolito puede ser evaporado con facilidad causando daños internos, se alimenta constantemente de 12 voltios la cual fue tomada del fusible de la cigarrera y se acciona con de la llave del vehículo, dicha tensión es regulada antes de ingresar a la celda evitando una producción excesiva de hidrogeno, el cual al tener un alto grado de inflamabilidad provocara daños en la junta de la culata.
- Se realizó las pruebas dinámicas de consumo bajo la norma SAE J1321:2012 y con la verificación de la ruta urbana mediante el ciclo de conducción, las variables SICH e ICH dieron como resultado 1351.20g y de 1414.60g respectivamente teniendo un aumento del 4.69%, verificando así, que el generador de hidrógeno no reduce el consumo de combustible.
- Mediante el modelo estadístico aplicado se evidenció que el torque antes de implementar la celda de hidrógeno fue de 67.14 lb-ft y la potencia de 51.88 Hp, se tuvo una variación positiva cuando dicha celda fue implementada en el vehículo seleccionado, obteniendo valores de 69.02 lb-ft y 60.90 Hp respectivamente, es decir que el torque aumento en un 2.80% y la potencia 17.37%, constatando así que el generador de hidrogeno instalado si aumenta el torque y la potencia del motor de combustión interna y teniendo en cuenta que no se puede reducir el consumo de combustible y aumentar dichos parámetros ya que son directamente proporcionales.

RECOMENDACIONES

- Todas las celdas de hidrógeno no tienen el mismo principio de funcionamiento, motivo por el cual es necesario tener la información técnica adecuada lo que permitirá el uso correcto sin alterar sus partes y componentes.
- El generador de hidrógeno no debe estar constantemente alimentado ya que produciría daños en el mismo, motivo por el cual es esencial tener los diagramas eléctricos para una correcta instalación, además el ingreso del hidrógeno al múltiple de admisión debería variar dependiendo de la carga presente en el motor.
- Las opciones de estudio del consumo de combustible son varias por lo que se puede determinar la variación del consumo netamente a partir de ciclos de conducción, siempre y cuando se tenga la instrumentación necesaria para no cometer errores.
- Debido a los resultados obtenidos en el vehículo seleccionado en el que se realizó el estudio, se pueden realizar las pruebas en motores de mayor cilindrada o con cualquier otro tipo de combustible, lo que resultará un mayor aprendizaje sobre el uso de dichos generadores de hidrógeno.

BIBLIOGRAFIA

1. **ALVIZ, JOAQUÍN.** *Torque Pro, tu coche monitorizado desde Android.* [blog], 2014. [Consulta: 20 febrero 2023.] Disponible en: <https://clipset.com/torque-pro-tu-coche-monitorizado-desde-android/>
2. **ARENAL, RUBÉN, ÁNGELES, FRANCISCO AND ÁVALOS, FÉLIX.** Celdas de Combustible-Diseño, simulación, caracterización y aplicación a la industria automotriz [en línea], México, D.F.- México 2010, pp. 16-82. [Consulta: 02 julio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/629520/33068001101237.pdf?sequence=1>
3. **ARROYO, EDWIN, CEVALLOS, ANDRÉS, IMBAQUINGO, ROMMEL AND MELO JORGE.** “Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado”. *Ingeniería y Desarrollo.* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 38 (1), pp. 150-160. [Consulta: 10 abril 2023]. ISSN 2145-9371. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.38.1.629.25>
4. **ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR (AEADE).** *ANUARIO 2021* [en línea], 2021 Quito. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>
5. **ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR (AEADE).** *ANUARIO 2022* [en línea]. 2022 Quito. [Consulta: 01 junio 2023]. Disponible en: https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2023/03/ANUARIO-AEADE_2022_comp.pdf
6. **BALTAZAR ORTEGA, PABLO MARTIN.** Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Continental, Huancayo-Perú. 2020. [Consulta: 1 junio 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8444>
7. **CAICEDO, LUIS CARLOS.** Diseño de celda electrolítica para análisis electroquímicos. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz-México 2021. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/351706325>
8. **CARGUA, FABIÁN ALEJANDRO AND CASTELO, JUAN CARLOS.** Determinación de la variación de par motor potencia y pérdidas mecánicas en un motor de encendido provocado (MEP) en función de la presión atmosférica y temperatura ambiente a través del método de aceleración libre [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017. pp. 3-15. [Consulta: 04 mayo 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17118>

9. **CARSOPEDIA**, *Especificaciones técnicas Hyundai Getz 1.6 106 cv.* [blog], 2020. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://carsopedia.com/es/catalog/hyundai/getz/getz/1-6-40201/>
10. **CASTILLO, JAIRO DARÍO & ROJAS, EDGAR VICENTE**. Determinación del torque y potencia de un motor de combustión interna a gasolina mediante el uso de bujía con sensor de presión adaptado y aplicación de un modelo matemático. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015. pp. 1-24. [Consulta: 04 mayo 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12150>
11. **LEÓN CHACÓN, JIMMY ALEXANDER**. Implementación de un sistema generador de hidrógeno en un motor carburado. [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 2019. pp. 5-42. [Consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8319>
12. **DERCO CENTER**. *Scanner automotriz: para qué sirve y cómo funciona.* [blog], 2022. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://www.dercocenter.cl/noticias/scanner-automotriz-para-que-sirve-y-como-funciona>
13. **DUQUE CARRERA, EDWIN JOSE & MASAQUIZA MASAQUIZA, JUAN PATRICIO**. Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo Mazda BT-50 2.2 L, para reducir emisiones de gases contaminantes. [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador. 2013. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2608/1/65T00067.pdf>
14. **DYNOCOM, INDUSTRIES INC**. *AWD 5000-FX* [en línea], 2021. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dynocom.net/Brochures/AWD5000FXbrochure.pdf>
15. **ELECTROIMPO**. *Escáner HH Obd2 Advanced Bluetooth Elm327 Multimarca.* [blog], 2023. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.electroimpo.com.ar/automotor/482-escaner-hh-obdII-advanced-bluetooth-elm327-multimarca-.html>
16. **EP-PETROECUADOR**. *Informe estadístico enero - diciembre 2022 (Boletín)* Quito – Ecuador. [en línea], 2023. [Consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/05/INFORME-ESTADISTICO-DICIEMBRE-2022.pdf>

17. **ESPIMBERA MORALES, DAVID DANIEL.** Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología Micro-Trip. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo. Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador. 2018, pp. 11-80 [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/20099/1/9710_1.David%20Espimbera.pdf
18. **EXCEL PARA TODOS.** *¿Qué es Excel y para qué sirve?* [blog], 2021. [Consulta: 27 junio 2023]. Disponible en: <https://excelparatodos.com/que-es-excel>
19. **HIDROENERGY.** *Tipos de celdas de hidrógeno.* [blog], 2019. [Consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://hydroenergy.mx/blog/2019/10/30/celdas-secas-vs-celdas-humedas/>
20. **HIDROXI ENERGY EC,** *Ficha técnica generador hidrógeno.* [en línea], 2022. [Consulta: 14 junio 2023].
21. **HYUNDAI,** *Diagrama de fusibles Hyundai Getz (2006-2010) en español.* [blog]. 2022. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://diagrama-de-fusibles.mx/fusibles-hyundai-getz-2006-2010/>
22. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC).** *Anuario de Estadísticas de Transporte, 2021 (Boletín)* [en línea], Quito. 2022. pp: 1-6. [Consulta: 14 junio 2023] Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec
23. **JACHERO ARIZAGA, GALO ADRIÁN.** Levantamiento de una base de datos para el diagnóstico de fallas en motores de combustión interna ciclo Otto con el sistema MPFI mediante el análisis del sensor MAP. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2016. pp. 54-70. [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12026/1/UPS-CT005830.pdf>
24. **JIMÉNEZ CÁRDENAS, LUIS FERNANDO & MARÍN MUÑOZ, EDISON ANDRÉS.** Diseño e implementación de una celda de hidrógeno en un motor de combustión interna en la ciudad de Bogotá [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia. 2021. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28510/MarinMu%C3%B1ozEdison%2CJim%C3%A9nezC%C3%A1rdenasLuis2021..pdf?sequence=7&isAllowed>
25. **LA COBACHA,** *Balanza Digital Gramera 5KG CAMRY.* [blog], 2023. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.lacobacha.com.ec/producto/balanza-digital-gramera-5kg-camry-2/>

26. **LAPUERTA, MAGUÍN, ARMAS, OCTAVIO, AGUDELO, JOHN R. AND AGUDELO ANDRÉS F.** “Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento de motores de combustión interna”. *Información tecnológica*. [en línea], 2006, (Colombia). vol. 17, número 5, pp. 21-30. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>
27. **LEMA ROMERO, CRISTIAN FERNANDO & CORREA BERNAL, DANIEL.** Análisis del comportamiento de la potencia efectiva medida por el método de la aceleración libre al inducir diferentes modos de fallos en un motor de combustión interna a gasolina con sistema de inyección electrónica. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2017. [Consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18855>
28. **MOTORGIGA, Mezcla estequiométrica.** [blog], 2012. [Consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/mezcla-estequiometrica>
29. **MUCAR, Mucar BT200.** [blog], 2023. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://www.mucarco.com/product/43/t1>
30. **ORTEGA, CRISTINA.** Prueba t: Qué es, ventajas y pasos para realizarla. [blog], 2023. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-t-de-student/>
31. **PACHACAMA GUALOTUÑA, DAVID, PACHACAMA GUALOTUÑA, DARWIN, VINLASACA VIERA, LENIN & CASTILLO MEDINA, ANTONIO.** “Eficiencia en el consumo de diésel de un camión con la implementación de un dispositivo aerodinámico”. *Ciencia Digital*. [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 4, número 2, pp. 6-18. [Consulta: 25 junio 2023]. Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/1193/2943>
32. **PADILLA, CELIN ABAD, BUENAÑO, LUIS FERNANDO, CUAICAL, BOLÍVAR ALEJANDRO & TACLE, DIEGO ARMANDO.** "Análisis del torque y potencia de un motor de combustión interna con mezcla de etanol gasolina en diferentes concentraciones y la influencia en el sistema de inyección". *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 7, pp. 1482–1499. [Consulta: 25 junio 2022]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2070>
33. **PAIDA PUENTE, MÓNICA LORENA.** Análisis de los sensores MAP y MAF en un motor a gasolina. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay. Cuenca-Ecuador. 2007. pp. 52-80. [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/204/1/06623.pdf>

34. **PESÁNTEZ MOROCHO, JUAN NOÉ & TACURI MOROCHO, JOSÉ VICENE.** Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Cuenca: Ecuador. 2021, pp. 11-80 [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21256/1/UPS-CT009350.pdf>
35. **QUEZADA ROMERO, EDISON MIGUEL & TORRES GUALAN, DIEGO FERNANDO.** Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2014. pp. 1-30. [Consulta: 8 julio 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7354>
36. **SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO (SAE).** J1349:2005. Acerca de la energía certificada SAE J1349 SAE International. [en línea]. 2022. [Consulta: 5 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sae.org/standards/development/about-saej1349-certified-power/>
37. **SÁNCHEZ DIRZO, RAFAEL & SILVA CASARÍN, RODOLFO.** “Combustible hidrógeno para el ciclo Rankine”. *Educación Química*. [en línea], 2007, (España) vol. 20 (2), pp. 1-6. [Consulta: 2 julio 2023]. ISSN 0187-893X. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v20n2/v20n2a11.pdf>
38. **SÁNCHEZ NARANJO, ROMINA.** Un análisis de la variación del consumo de los combustibles frente a fluctuaciones en sus precios, periodo 2019 –2021. [en línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 2021. pp 3-30. [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/19560>
39. **SUÁREZ BENAVIDES, WILLIAN OMAR.** Generador de hidrógeno como reductor de gases contaminantes para los motores Kia, en el 3ero de bachillerato del Instituto Educativo Particular «Latinoamericano» en el sector de Lumbisí, año lectivo 2017-2018. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 2018. pp. 79-85. [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17319>
40. **TAPIA MOSCOSO, DIEGO FRANCISCO, TAPIA ZAMBRANO, CARLOS PAÚL & TIGRE SALTOS, JOSE VINICIO.** “Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Hyundai Santa Fe 2.7L V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017”. *Infociencia* [en línea]. 2017 vol. 11, p. 8. [Consulta: 2 junio 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7373>
41. **TÉCNICAS DE CONTROL METROLÓGICO.** *Minitab: ¿qué es y para qué sirve? TCM.* [blog]. 2022 [Consulta: 27 junio 2023]. Disponible en: <https://www.tcmetrologia.com/blog/minitab-que-es-y-para-que-sirve/>

ANEXOS

ANEXO A: ANALISIS DE DATOS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

CONSUMO SICH						MEDIA DE CONSUMO		
Prueba	Inicio	Fin	Consumo (gramos)	Consumo (galones)	Consumo (litros)	SICH	ICH	UNIDADES
1	4207	2772	1435	0.38	1.43	1351.20	1414.60	gramos
2	4207	2904	1303	0.34	1.30	0.36	0.37	galones
3	4208	2807	1401	0.37	1.40	1.35	1.41	litros
4	4209	2848	1361	0.36	1.36	1351.18	1414.58	ml
5	4209	2953	1256	0.33	1.26	0.079	0.083	l/km
		MEDIA	1351.2	0.36	1.35			

CONSUMO ICH						VARIACION CONSUMO	
Prueba	Inicio	Fin	Consumo (gramos)	Consumo (galones)	Consumo (litros)		
1	4208	2803	1405	0.37	1.40	63.4	gramos
2	4027	2763	1264	0.33	1.26	0.017	galones
3	4208	2567	1641	0.43	1.64	0.063	litros
4	4206	2781	1425	0.38	1.42	63.40	mililitros
5	4210	2872	1338	0.35	1.34		
		MEDIA	1414.6	0.37	1.41		

ANEXO B: ANALISIS DE DATOS DEL TORQUE Y POTENCIA

Datos Dinamometro sin Factor									
SICH			ICH			Resultados			
Prueba	Potencia (hp)	Torque (lb-ft)	Prueba	Potencia (hp)	Torque (lb-ft)	Potencia (hp)	Torque (lb-ft)		
1	49.74	66.55	1	59.08	67.78	9.01	1.88	Perdida	
2	53.59	68.4	2	60.91	67.79			Ganancia	
3	52.32	66.48	3	62.7	71.5				
Media	51.88	67.14		60.90	69.02				

ANEXO C: ANALISIS ESTADÍSTICOS EN MINITAB

HOJA DE TRABAJO 1

Prueba de consumo

Los resultados no usan datos actuales.

Método

μ_1 : media de población de SICH
 μ_2 : media de población de ICH
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Error estándar

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	SICH consumo	ICH consumo		Torque SICH	Torque ICH		Potencia SICH	Potencia ICH
1	1435	1405		66,55	67,78		49,74	59,08
2	1303	1264		68,40	67,79		53,59	60,91
3	1401	1641		66,48	71,50		52,32	62,70
4	1361	1425						
5	1256	1338						

ANEXO D: INFORME DINAMÓMETRO

Dynocom Run Info Report

Session Title: TORQUE POTENCIA

Run #: 10

6/19/23 11:46

Phone:

Fax:

Henry Ocaña

Address:

Phone:

Other:

Email:

Vehicle:

RESULTS

Run General Information

Run Type: RO
 RPM Pickup: Snapshot RPM/Speed: 1.67
 Description:

Gas Analyzer Max Values

HC PPM: 0.00
 CO %: 0.00
 CO2 %: 0.00
 O2 %: 0.00
 NOx PPM: 0.00

I/M Results

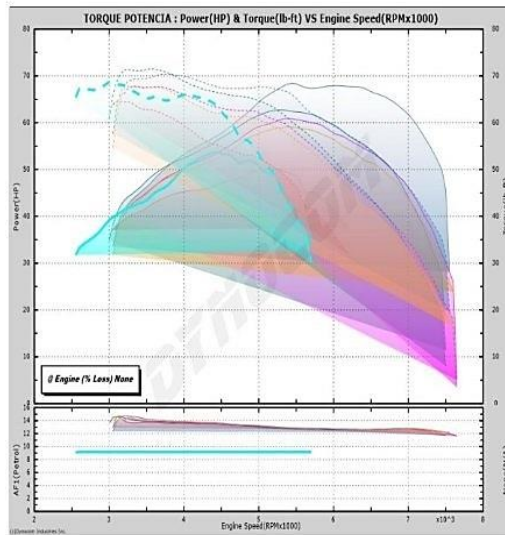
Pass
 Pass
 Pass
 Pass
 Pass

Run Atmospheric Data

Humidity: 20 % Correction: 1.00
 Pressure: 21.46 in-Hg
 Temperature: 74.0 °F

Run Power/Torque Results

Max Power: 54.5 HP Ave Power: 52.2 HP
 Max Torque: 62.2 ft-lbs Ave Torque: 55.8 ft-lbs
 RPM Averaging 0 RPM Averaging 10000
 Range Min: Range Max:



Estimated Performance Computations

R.T.: 0.000
 60 ft E.T.: 2.77
 330 ft E.T.: 8.62
 1/8 E.T.: 13.68 1/8 MPH: 44.3
 1000 ft E.T.: 18.04 1000 ft MPH: 50.8
 1/4 E.T.: 21.71 1/4 MPH: 55.8
 60 MPH E.T.: 25.13
 100 MPH E.T.: 29.81
 100 KPH E.T.: 26.95
 160 KPH E.T.: 69.00
 Speed E.T.: 0.00 Max Speed: 113.3
 Start Speed: 0.0 End Speed: 0.0



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: JONATHAN MANUEL CHONATA SARABIA HENRY DAMIÁN OCAÑA TISALEMA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.

0024-DBRA-UTP-2024