



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

EFECTO SOBRE EL CONSUMO Y LOS FACTORES DE EMISIÓN
ANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE
HIDRÓGENO COMO FUENTE DE COMBUSTIBLE ADICIONAL
PARA UN VEHÍCULO GREAT WALL M4 2017

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

JUAN MANUEL GUAMAN DUTAN

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

EFECTO SOBRE EL CONSUMO Y LOS FACTORES DE EMISIÓN
ANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE
HIDRÓGENO COMO FUENTE DE COMBUSTIBLE ADICIONAL
PARA UN VEHÍCULO GREAT WALL M4 2017

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JUAN MANUEL GUAMAN DUTAN

DIRECTOR: Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Juan Manuel Guaman Dutan

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.

Yo, Juan Manuel Guaman Dutan, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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, 2 de junio de 2023



Juan Manuel Guaman Dutan

035034044-4

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, “**EFFECTO SOBRE EL CONSUMO Y LOS FACTORES DE EMISIÓN ANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO FUENTE DE COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA UN VEHÍCULO GREAT WALL M4 2017**”, realizado por el señor: **JUAN MANUEL GUAMAN DUTAN**, 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 Castelo Valdivieso PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.		2023-06-02
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-02
Ing. Víctor David Bravo Morocho ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-02

DEDICATORIA

La presente investigación es dedicada a Dios y a mi familia por permitir nuestra existencia de manera especial a mis padres María Rosa Dutan Pinguil y Manuel Jesús Guaman Pinguil por el esfuerzo y apoyo brindado en el transcurso durante el trayecto de mi formación profesional. Aunque mi padre no se encuentre en esta etapa de mi vida estoy seguro de que desde el mundo celestial se siente orgulloso de su familia a todas estas personas mil gracias por su apoyo incondicional para llegar a culminar con una de las metas de mi vida.

Juan

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a Dios por permitir cumplir uno de mis objetivos en mi vida. Además de forma cordial se agradece al Ingeniero Fernando Alvarado Gerente general del Taller Electrónico Automotriz CAR SOLUTIONS por tener la iniciativa en la investigación acerca soluciones integrales para los vehículos que aportan a la industria automotriz por su prestación de sus instalaciones y el vehículo de prueba que permitieron realizar la investigación. Además, al director del tema Ing. Paúl Montufar y asesor Ing. Víctor Bravo por sus directrices que permitieron orientar en la ejecución en el trayecto de los inconvenientes presentados durante la investigación.

Juan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
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
<i>1.2.1. Limitaciones</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. Delimitaciones</i>	<i>3</i>
1.3. Problema general de investigación	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	4
1.5. Objetivos	4
<i>1.5.1. Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
1.6. Justificación	5
<i>1.6.1. Justificación teórica</i>	<i>5</i>
<i>1.6.2. Justificación metodológica.....</i>	<i>5</i>
<i>1.6.3. Justificación práctica</i>	<i>5</i>
1.7. Hipótesis	6
<i>1.7.1. Hipótesis nula (H0).....</i>	<i>6</i>
<i>1.7.2. Hipótesis alternativa (H1).....</i>	<i>6</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de investigación	7
2.2. Referencias teóricas.....	11
<i>2.2.1. Motor de combustión Interna</i>	<i>11</i>
<i>2.2.1.1. Etapas de los Motores de encendido provocado (MEP).....</i>	<i>11</i>

2.2.1.2. <i>Proceso de Combustión MEP</i>	13
2.2.1.3. <i>Parámetros ambientales que influyen en la combustión</i>	13
2.2.1.4. <i>Tendencias actuales de los Motores de combustión Interna</i>	14
2.2.1.5. <i>Contaminantes producidos por los motores de combustión interna MEP</i>	15
2.2.1.6. <i>Normativas de emisiones de gases de escape</i>	16
2.2.1.7. <i>Celdas electrolíticas</i>	18
2.2.1.8. <i>Estequiometría de los hidrocarburos Cn Hm</i>	19
2.2.2. <i>El hidrógeno como combustible</i>	22
2.2.2.1. <i>Propiedades físicas y químicas del Hidrógeno</i>	23
2.2.2.2. <i>Desafíos para la producción de hidrógeno</i>	24
2.2.3. <i>Tipos de generadores de hidrógeno</i>	26
2.2.3.1. <i>Generador de hidrógeno de celda seca vs celda húmeda</i>	27

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Enfoque de la investigación	30
3.1.1. <i>Variables independientes</i>	30
3.1.2. <i>Variables Dependientes</i>	31
3.2. Según la manipulación de la variable independiente	32
3.3. Tipo de estudio	32
3.4. Nivel de investigación	32
3.5. Diseño de investigación	32
3.5.1. <i>Diseño de investigación experimental</i>	33
3.5.1.1. <i>Esquema del diseño de la investigación</i>	33
3.6. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	34
3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	36
3.7.1. <i>Obtención de referencias bibliográficas</i>	36
3.7.2. <i>Implementación del generador de hidrógeno</i>	37
3.7.2.1. <i>Especificaciones técnicas del motor</i>	38
3.7.2.2. <i>Proceso para la implementación del generador de hidrógeno</i>	40
3.7.2.3. <i>Instalación del sistema de generación del vehículo</i>	44
3.7.3. <i>Ejecución de la fase de pruebas de torque, potencia y consumo realizada en el banco dinámico y pruebas de ruta para la determinación de factor de emisiones y consumo real de combustible</i>	48
3.7.3.1. <i>Consideración para las pruebas de ruta</i>	48
3.7.3.2. <i>Fase de Pruebas en el banco dinámico</i>	63

3.7.3.3. <i>Fase de pruebas en ruta</i>	66
3.7.3.4. <i>Técnicas de análisis de datos</i>	68

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	74
4.1. Análisis del efecto sobre el consumo de combustible	74
4.2. Efecto sobre los factores de emisión	76
<i>4.2.1. Factores de emisión ciudad</i>	<i>77</i>
<i>4.2.2. Factor de emisión Carretera</i>	<i>78</i>
<i>4.2.3. Factores de emisión Ciudad - Carretera</i>	<i>80</i>
4.3. Análisis en el efecto sobre las prestaciones del motor 1.6 Great Wall M4	82
<i>4.3.1. Análisis del efecto sobre el torque, potencia y consumo específico</i>	<i>82</i>
4.4. Discusión	85
4.5. Validación y aprobación de la hipótesis	87
<i>4.5.1. Resultado del análisis estadístico</i>	<i>87</i>
<i>4.4.1.2. Validación Factores de emisión y consumo de combustible</i>	<i>88</i>

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO	92
5.1. Propuesta	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tiempos de un motor de encendido provocado MEP.....	12
Tabla 2-2: Parámetros Ambientales que intervienen en la combustión MEP.....	13
Tabla 3-2: Los combustibles alternativos en la industria automotriz.....	15
Tabla 4-2: Gases Provenientes de Combustión.....	15
Tabla 5-2: Límites de emisiones por legislación EURO.....	16
Tabla 6-2: Límite máximo de emisiones en Ecuador – Método Estático	17
Tabla 7-2: Límite máximo de emisiones en Ecuador - Método dinámica	17
Tabla 8-2: Consideraciones para el Modelo de combustion Simplificado.....	18
Tabla 9-2: Formula molecular CH3 equivalente.....	20
Tabla 10-2: Balance químico por el método algebraico	21
Tabla 11-2: Comparativa del Hidrógeno con otros combustibles.....	22
Tabla 12-2: Propiedades físicas y químicas del hidrógeno	23
Tabla 13-2: Obtención de la reacción química de los Electrolizadores Alcalinos	26
Tabla 14-2: Componentes de generadores de hidrogeno	28
Tabla 15-2: Electrolitos recomendados para la generación de Hidrógeno.....	29
Tabla 1-3: Variables independientes.....	31
Tabla 2-3: Variables dependientes consideradas para la investigación	31
Tabla 3-3: Población por Segmento de ventas en el Ecuador 2022	34
Tabla 4-3: Especificaciones técnicas del motor del vehículo Great Wall M4 2017	38
Tabla 5-3: Descripción Fusilera frontal Great Wall M4 2017	41
Tabla 6-3: Herramientas y accesorias para la implementación HHO	44
Tabla 7-3: Especificaciones técnicas Plasmafire Fuel saver.....	45
Tabla 8-3: Proceso para la implementación del generador de hidrógeno Plasmafire	46
Tabla 9-3: Categorización vial para vehículos livianos dentro en la ciudad de Riobamba.....	50
Tabla 10-3: Vehículos compatibles con el conector ELM 327	52
Tabla 11-3: Características del Analizador de gases MAHA MET 6.3	56
Tabla 12-3: Indicadores y partes del analizador de gases MAHA MET 6.3	56
Tabla 13-3: Especificaciones técnicas del analizador de gases MAHA MET 6.3	57
Tabla 14-3: Partes de la balanza digital	58
Tabla 15-3: Especificaciones DYNOCOM INC AWD 5000	59
Tabla 16-3: Corrección de las prestaciones del motor	63
Tabla 17-3: Consideraciones para la utilización de la balanza en el Banco Dinamométrico	65
Tabla 18-3: Procedimiento medición MAHA MET 6.3	67
Tabla 19-3: Tendencias del coeficiente de correlación de Pearson	69

Tabla 20-3: Datos útiles exportados de OBD FUSIÓN	69
Tabla 21-3: Coeficientes de correlación entre variable para el desfase de tiempo	71
Tabla 22-3: Validación de rutas por método de diferencia relativa entre condiciones	72
Tabla 1-4: Consumo de combustible en sus respectivas modalidades en ruta.....	75
Tabla 2-4: Factores de emisión bajo sus modalidades	76
Tabla 3-4: Parámetros considerados para la validación estadística	87
Tabla 4-4: Variables consideradas para la validación de la hipótesis	88
Tabla 5-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Ciudad	89
Tabla 6-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Carretera.....	90
Tabla 7-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Ciudad – Carretera	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Mecanismo Biela Manivela	11
Ilustración 2-2: Esquema de combustión perfecta.....	13
Ilustración 3-2: Celdas electrolíticas	19
Ilustración 4-2: Métodos de producción de Hidrógeno	24
Ilustración 5-2: Electrolisis del Agua y separación de los Átomos de O y H	26
Ilustración 6-2: Tipos de generadores de hidrógeno	27
Ilustración 7-2: Partes de un sistema de generación de hidrogeno.....	28
Ilustración 1-3: Diseño Experimental FE y consumo.....	33
Ilustración 2-3: Esquema del diseño de investigación	34
Ilustración 3-3: Ventas de Vehículos en el Ecuador por Origen de fabricación	35
Ilustración 4-3: Venta de marcas de vehículos chinos en Ecuador	35
Ilustración 5-3: Proceso para la búsqueda de información.....	37
Ilustración 6-3: Vehículo utilizado para la investigación Great Wall M4 2017.....	38
Ilustración 7-3: Scanner Autel MaxiSys MS906.....	39
Ilustración 8-3: Identificación de la admisión del motor.....	40
Ilustración 9-3: Ubicación de los elementos y componentes de la fusilera.....	41
Ilustración 10-3: Relé principal Great Wall	42
Ilustración 11-3: Ubicación del sistema de generación de hidrógeno	42
Ilustración 12-3: Ubicación de la admisión del vehículo	43
Ilustración 13-3: Diagrama adaptación del Sistema HHO Plasmafire	43
Ilustración 14-3: Vista de perfil del sistema Plasmafire.....	44
Ilustración 15-3: Vista Superior del sistema Plasmafire	45
Ilustración 16-3: Ubicación Taller Automotriz Cars Solution	49
Ilustración 17-3: Ruta en carretera Riobamaba – Ambato	49
Ilustración 18-3: Ruta ciudad dentro de la ciudad de Riobamba.....	50
Ilustración 19-3: Ruta Ciudad Carretera Riobamba - Guano	51
Ilustración 20-3: Origen de partida para las pruebas de ruta.....	51
Ilustración 21-3: Conector Interfaz OBDII ELM327	52
Ilustración 22-3: Icono de la aplicación OBD FUSION	53
Ilustración 23-3: Menú OBD FUSION	54
Ilustración 24-3: Capturas de pantalla OBD FUSION	55
Ilustración 25-3: Analizador de Gases MET 6.3	55
Ilustración 26-3: Transmisor de celda de Carga HX711	58
Ilustración 27-3: Pruebas del consumo de combustible sin el generador de hidrógeno.....	60

Ilustración 28-3: Ecuación que describe el consumo de combustible (sn hho).....	60
Ilustración 29-3: Pruebas del consumo con el generador de hidrógeno	61
Ilustración 30-3: Ecuación que describe el consumo hho	61
Ilustración 31-3: Equipos utilizados para las curvas de torque, potencia y consumo	63
Ilustración 32-3: Ubicación del Taller Mundo Tuerca 2	64
Ilustración 33-3: Fijación del vehículo prueba en el Banco Dinamométrico	64
Ilustración 34-3: Balanza de combustible implementada en el vehículo	65
Ilustración 35-3: Equipos utilizados para la fase de pruebas en ruta.....	66
Ilustración 36-3: Correlación entre las 2 fuentes de datos	70
Ilustración 37-3: Correlación de los parámetros con mejor correlación	70
Ilustración 38-3: Curvas para la toma de decisión de t de Student.....	73
Ilustración 1-4: Estación de Servicio en Yaruquies Abastecimiento de combustible	74
Ilustración 2-4: Rendimiento del combustible en sus modalidades	75
Ilustración 3-4: Factor de Emisión CO Ciudad	77
Ilustración 4-4: Factores de Emisión NOx Ciudad.....	77
Ilustración 5-4: Factores de Emisión HC Ciudad.....	78
Ilustración 6-4: Factores de Emisión CO Carretera	79
Ilustración 7-4: Factores de Emisión NOx Carretera	79
Ilustración 8-4: Factores de Emisión HC Carretera	80
Ilustración 9-4: Factores de Emisión CO Ciudad - Carretera.....	81
Ilustración 10-4: Factores de emisión NOx Ciudad - Carretera	81
Ilustración 11-4: Factores de Emisión HC Ciudad - Carretera.....	82
Ilustración 12-4: Curva característica de Torque, Potencia (SN HHO)	83
Ilustración 13-4: Curva característica de Torque, potencia con hho	83
Ilustración 14-4: Curvas características comparativas de Torque	84
Ilustración 15-4: Curvas características comparativas de Potencia.....	84
Ilustración 16-4: Curva Consumo de Combustible específico	85
Ilustración 17-4: Distribución t en el punto crítico para 3 observaciones	89

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	NORMATIVA NTE INEN 2204:2002
ANEXO B:	DATOS BANCO DINAMOMÉTRICO
ANEXO C:	DATOS BANCO DINAMOMÉTRICO CON ADICIÓN HIDRÓGENO
ANEXO D:	PARÁMETROS DINÁMICOS
ANEXO E:	CICLO DE CONDUCCIÓN RIOBAMBA
ANEXO F:	CICLO DE CONDUCCIÓN RIOBAMBA – GUANO
ANEXO G:	CICLO CONDUCCIÓN RIOBAMBA - AMBATO
ANEXO H:	CÁLCULOS FACTORES DE EMISIÓN
ANEXO I:	CALCULO FACTORES DE EMISIÓN CON LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO
ANEXO J:	CONSUMO DE ELECTROLITO

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional para un vehículo Great Wall M4 2017, **realizadas** mediante pruebas en ruta y un banco dinamométrico para verificar el aporte de las prestaciones del motor. Por lo cual, se realizó una búsqueda en abanico acerca de la incidencia del hidrógeno en los motores de encendido provocado, seleccionando el generador de hidrógeno Plasmafire mediante 3 modalidades de rutas independientes: (Ciudad, Carretera y Ciudad – Carretera) en los trayectos (Riobamba, Riobamba - Ambato y Riobamba – Guano) bajo la normativa de emisiones NTE INEN 2204. Los datos obtenidos mediante la utilización de los equipos conector ELM327 y el analizador de gases MAHA MET 6.3 se correlaciono mediante la utilización del coeficiente de Pearson y diferencia relativa con una variación entre condiciones de operación alrededor del 5% – 15% .Se pudo observar una reducción del consumo de combustible y reducción de factor de emisiones alrededor de 33% ,18% y 16% respectivamente y en las emisiones una reducción de 47% Hidrocarburos (HC), un incremento en los Monóxidos de nitrógeno de 14% (NOx) y Monóxido de Carbono (CO) de 27% no presento variaciones considerables. Para la validación se utilizó el estadístico t de Student, con un nivel de significancia del 95% llegando a la conclusión de la adición del Hidrógeno como combustible adicional contribuyo a la disminución de las emisiones contaminantes y el consumo de combustible en las modalidades: Ciudad y Ciudad Carretera.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <GENERADOR DE HIDRÓGENO> <CONSUMO DE COMBUSTIBLE> <FACTORES DE EMISIÓN> <PRUEBAS DE RUTA>.

1453-DBRA-UPT-2923



SUMMARY

The main objective of this investigation was to analyze the effect of consumption and emission factors before the implementation of a hydrogen generator as an additional fuel source for a 2017 Great Wall M4 vehicle, carried out through road tests and a dynamometric bench to verify the contribution of engine performance. Therefore, a fan search was carried out on the incidence of hydrogen, in spark ignition engines, selecting the Plasmafire hydrogen generator through 3 independent route modalities: (City, Highway, and City - Highway) on the routes (Riobamba, Riobamba – Ambato, and Riobamba - Guano) under the NTE INEN 2204 emissions regulations. The data obtained by using the ELM327 connector equipment, and the MAHA MET 6.3 gas analyzer had correlated by using the Pearson coefficient and relative difference with a variation between operating conditions around 5% – 15%. It was possible to observe a reduction in fuel consumption and a reduction in the emission factor around 33%, 18%, and 16% respectively, and emissions, a reduction of 47% Hydrocarbons (HC), an increase in Nitrogen Monoxide of 14% (NO_x) and Carbon Monoxide (CO) of 27% did not present considerable variations. For the validation, the student t statistic was used, with a significance level of 95%, concluding the addition of Hydrogen as additional fuel contributed to the reduction of polluting emissions and fuel consumption in the modalities: City and Road City.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES> <HYDROGEN GENERATOR> <FUEL CONSUMPTION> <EMISSION FACTORS> <ROAD TESTS>.

1453-DBRA-UPT-2923



Licda. Mónica A. Castelo R. Mgs.

C.I: 060453982-5

INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible y las emisiones contaminantes representan uno de los mayores inconvenientes tanto al aporte económico y el impacto ambiental generado por los altos índices de concentraciones a nivel mundial por el funcionamiento y operación de los motores de combustión interna. Debido, a la ineficiencia de los motores de combustión interna alrededor del (30 – 40) % por pérdidas de energía en forma de calor, mecánica, fricción etc.(Pulkrabek, 2004, p.345).

Actualmente en el Ecuador los precios de los combustibles según el último reporte por parte de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables a partir del mes de agosto 2022 se mantiene Súper USD 4,27, Extra-USD 2,40, Eco país USD 2,40 y Diesel USD 1,75. (ECI, 2022).

La Industria automotriz a nivel mundial busca implementar nuevos sistemas que mejoren la eficiencia en los motores de combustión interna con la finalidad de reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Por consecuencia, los países europeos preocupados por el impacto ambiental y la calidad del aire para los seres vivos implementaron las Normas euro a finales del año 1980 y puesta en ejecución a partir del año 1992.(Autocrash ,2022a: p.3). Estas exigencias tienen como finalidad disminuir el índice de emisiones contaminantes como: NOX (monóxido de nitrógeno), CO (monóxido de carbono) e HC (hidrocarburos no combustionados) que resultan perjudiciales para la salud humana. Sin embargo, El Ecuador adopta estas normativas a partir del año 2002 bajo la normativa INEN 2204 como ente regulador de emisiones vehiculares a nivel nacional permitidos para las revisiones vehiculares.(UIDE, 2020).

Actualmente en el mercado automotriz la tendencia radica en el desarrollo de nuevos sistemas adicionales que permita mejorar las prestaciones de torque, potencia, reducción del consumo y las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna.(Automoción, 2018). Además, la utilización de otras fuentes como combustibles alternativos y los combustibles fósiles entran en auge como el hidrógeno combustible alternativo obtenido mediante el proceso de la electrolisis consiste en separar el agua (H₂O) los átomos de hidrógeno (H) de los átomos de oxígeno (O) e ingresar en el múltiple de admisión como combustible adicional o alternativo a la gasolina o Diesel la presente investigación nace con la finalidad de evaluar el efecto sobre el consumo de combustible y los factores de emisión implementado en un vehículo de Categoría SUV Great Wall M4 2017.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el Ecuador los inconvenientes más grandes de los vehículos de combustión interna son el consumo excesivo del combustible y el efecto ambiental ante los elevados índices de emisiones contaminantes. Además, el crecimiento del parque automotor según datos del anuario de estadísticas de transporte, del instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) Ha incrementado aproximadamente un 65% en los últimos 5 años lo cual hace que exista una gran cantidad de vehículos circulando por las principales vías de la ciudad a diario principalmente en las horas pico (06:30 a 08:30; de 12:00 a 14:00; de 16:30 – 18:30). (INEC, 2021).

La Industria Automotriz busca implementar nuevos sistemas que mejoren la eficiencia en los motores de combustión interna para minimizar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

Por tal efecto, la existencia en el mercado automotriz de sistemas innovadores como los generadores de hidrógeno vehicular que ofrecen mejorar las prestaciones del motor mediante la admisión del gas de hidrógeno.(Pelaez y Espinoza 2015).

Para el caso de estudio se considerará un vehículo de la categoría SUV Great Wall M4 2017 una de las marcas chinas con mayor realce en ventas en los últimos 5 años en Ecuador según los reportes de Ambacar afirma que el 6 de enero de 2022, GWM publicó los datos de producción y ventas de diciembre de 2021 un crecimiento interanual del 8,2 % y mensual del 32,5 % lo cual representa una de las marcas con un considerable índice en ventas a nivel nacional en el Ecuador.(Soto y Constante, 2020)

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

Las limitaciones que se presentaron en la ejecución del proyecto investigativo son las siguientes:

- Las condiciones climáticas: repercuten en el funcionamiento del motor e incide en los parámetros como: Altitud, presión atmosférica, temperatura ambiente entre otros parámetros importantes en la combustión
- Tráfico vehicular: parámetro indispensable a considerar ya que influye en la forma de conducción y duración de los trayectos de estudio o rutas de prueba.
- Los límites de velocidad: aspecto que intervienen en el consumo de combustible y emisiones contaminantes
- Caudal ideal de generación de hidrógeno: ante su implementación ha representado uno de los grandes inconvenientes debido a los altos costos de adquisición de un caudalímetro de flujo de gas hidrógeno
- Alteración de la mezcla estequiométrica aire/combustible: la adición del gas hidrógeno como combustible adicional en el múltiple de admisión desde el punto molecular y químico produce alteración en la reacción química de combustión octano (C_8H_{18}) contenido en la gasolina

1.2.2. Delimitaciones

Las delimitaciones que se presentaron en la presente investigación durante el proceso de implementación, ejecución de pruebas y registro de datos son los siguientes:

- Instalación adecuada en el múltiple de admisión y ubicación del sistema en el vehículo
- La admisión de hidrógeno puede alterar parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna
- Existe la correcta comunicación de la interfaz OBD II con la computadora del vehículo.
- Correlación entre las 2 bases de datos Interfaz ELM 327 vs analizador de gases

1.3. Problema general de investigación

El consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes son parte de los mayores inconvenientes en los motores de combustión interna en la industria automotriz a nivel mundial. En el Ecuador profesionales e investigadores preocupados ante el elevado consumo de combustibles han recurrido a la implementación y adaptación de nuevos sistemas adicionales. Bajo estas consideraciones se ha generado la siguiente interrogante acerca del problema general de la investigación.

- ¿Cuál es el efecto en los factores de emisión, consumo de combustible, torque y potencia ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional en un vehículo Great Wall 2017?

1.4. Problemas específicos de investigación

Ante la implementación del generador de hidrógeno vehicular han surgido las siguientes interrogantes de investigación para el análisis del efecto sobre el consumo de combustible y los factores de emisiones.

- ¿Como se obtendrá la información acerca de la generación de hidrógeno y la incidencia en los parámetros del motor de combustión interna?
- ¿Como se implementará el generador de hidrógeno seleccionado y que parámetros se evaluará en la fase de pruebas?
- ¿Que se realizara con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas de: consumo, torque, potencia y los factores de emisión ante la implementación del generador de hidrógeno?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar el efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional en un vehículo Great Wall M4 2017 mediante pruebas en ruta y en el banco dinamométrico para verificar el aporte a las prestaciones del motor.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener referencias bibliográficas de la generación de hidrógeno y la incidencia en los parámetros del motor de combustión interna
- Implementar el generador de hidrógeno seleccionado previo a una revisión técnica del motor.
- Ejecutar las pruebas de torque, potencia y consumo realizada en el banco dinamométrico y pruebas de ruta para la obtención del consumo de combustible y factores de emisión.
- Comparar las curvas características de torque, potencia, consumo y el efecto sobre el consumo real de combustible y factores de emisión bajo la normativa INEN 2204

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La industria automotriz está sujeta a grandes cambios e innovaciones bajo las normativas internacionales de control de emisiones contaminantes NORMAS EURO pretenden minimizar la contaminación ambiental a nivel mundial la tendencia de los fabricantes de automóviles se basa en la elaboración de motores de combustión interna cada vez más eficientes con menos peso y con las mismas o mejores prestaciones de torque y potencia de sus versiones o modelos anteriores conocida como la tecnología del DOWNSIZING.(Actualidad motor, 2017)

Antes de su implementación del sistema de generación de hidrógeno se realizará un breve revisión bibliográfica acerca de la generación de hidrógeno en el cual se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones teóricas como: reacción química de los hidrocarburos, conceptos y términos básico acerca de motores de combustión interna, dinámica vehicular determinación de los factores de emisiones contaminantes y la estimación del consumo real de combustible, mediante la utilización de una metodología empírica Diferencia de abastecimiento de combustible por cada modalidad.

1.6.2. Justificación metodológica

El análisis del efecto sobre el consumo de factores de emisiones contaminantes ante la implementación de un generador de hidrógeno en un vehículo Great Wall, se propone realizar la investigación mediante la metodología experimental de pruebas estáticas y dinámicas en el cual se puede evidenciar el aporte a las presentaciones de torque, potencia consumo y los factores de emisiones bajo 3 modalidades ciudad, carretera , ciudad-carretera rutas independientes y verificar su mejor comportamiento en el efecto sobre el consumo de combustible real mediante la metodología empírica diferenciación de abastecimiento de combustible y factores de emisión empleando el ciclo de conducción mediante el método de diferencia relativa.

1.6.3. Justificación práctica

El análisis se realizará en un vehículo perteneciente a la categoría de los vehículos del tipo SUV (Vehículos Deportivos Utilitarios) actualmente se estrecha en el mercado ecuatoriano, Además, es muy preferida en la actualidad por los conductores gracias a sus prestaciones como: mayor disposición de visibilidad, confort y seguridad(Javeriana, 2015).

El consumo de combustible L/100 km y emisiones de gases contaminantes son indicadores de la eficiencia del motor de combustión interna por ende la problemática que representa al medio ambiente. Sin Embargo, se puede considerar nuevos métodos y alternativas para mejorar el ahorro de combustible y la reducción de emisiones contaminantes.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis nula (H0)

H0: El hidrógeno añadido mediante un generador externo en el múltiple de admisión no afecta en el consumo de combustible y los factores de emisión en un motor de 1,5 litros de aspiración natural.

1.7.2. Hipótesis alternativa (H1)

H1: El hidrógeno añadido mediante un generador externo en el múltiple de admisión afecta en el consumo de combustible y los factores de emisión en un motor de 1,5 litros de aspiración natural.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

A nivel mundial los fabricantes de vehículos, profesionales e investigadores de la industria automotriz preocupados por el impacto ambiental y la operación de motores de combustión interna con combustibles fósiles como también la alta demanda en su producción ha provocado que los países europeos generen exhaustivas normas de control de emisiones contaminantes denominadas como las normativas internacionales Normativas euro (Autocrash, 2022b: p. 4) nace con la finalidad de reducir los altos índices de los gases contaminantes al medio ambiente.

Por tal efecto, con el pasar del tiempo, la tecnología actual y las nuevas investigaciones en campo han optado por la utilización o producción de combustibles amigables o alternativos con el medio ambiente como la energía solar, células o energía fotovoltaica, el agua como combustible, vehículos eléctricos con fuentes de carga amigables, introducción del hidrógeno como energía limpia. (Hatami et al,2020)

En investigaciones a nivel internacional acerca de la generación de hidrógeno en aplicaciones automotrices como combustible alternativo se tienen los siguientes Antecedentes.

En la investigación de (Gutarevych et al, 2018) que lleva por título “Intensificación del proceso de combustión en un motor de gasolina mediante la adición de un gas que contiene hidrógeno” estudio realizado en el estado de Ucrania determino impacto del aditivo H₂ en el motor de combustión interna a gasolina mediante el cual se exploro el impacto del aditivo de gas que contiene hidrógeno en la eficiencia del consumo de combustible y el desempeño ambiental de un motor de gasolina MeM3-24 la misma que se lo realizo con simulación de motor interno virtual AVL BOOST.

En esta investigación se encontró los siguientes resultados que durante el funcionamiento del motor con 5,9% de aditivo del gas que contiene hidrógeno al mantener la frecuencia de rotación en el nivel de 900 rpm y variando la cantidad de la mezcla aire-combustible, el consumo de gasolina por hora disminuyó de 0,57 kg/h (durante la operación sin el aditivo) a 0,49 kg/h. Agregar gas H₂/O₂ resultó en una disminución del consumo de combustible en un 14 %.

Durante el funcionamiento del motor con gasolina sin ningún aditivo. La concentración de CO fue del 1,12% y cuando se añadió el gas que contenía hidrógeno, la concentración de CO disminuyó a 0,57%. cuando un motor funciona con gasolina con una adición de hidrógeno que contiene gas, las concentraciones de NOx aumentan de 1290 ppm a 1360 ppm y tal aumento atestigua un aumento de la temperatura en un cilindro del motor. Se concluyó que cuando un motor funciona con gasolina con una adición de hidrógeno que contiene gas, las concentraciones de NOx aumentan de 1290 ppm a 1360 ppm y tal aumento atestigua un aumento de la temperatura en un cilindro del motor. La importancia de la Adición de H₂/O₂ radica en la consecuencia a cambio de las prestaciones en el motor en tanto el aumento de los NOx es considerable ya que estos gases se producen específicamente a elevadas temperaturas y regímenes del motor.

En el Ecuador a partir del año 2015 los investigadores y profesionales apegados a la industria automotriz gracias a la experimentación por mejorar ciertas condiciones o características del octanaje los investigadores han optado por combinar estos combustibles como las mezclas de los combustibles super- extra, Eco país-Super y extra -eco país y la combinación con alcoholes para subir el grado de octanaje y reducir de esta forma las emisiones contaminantes (Rocha-Hoyos et al. 2019). así como también la utilización de los aditivos mediante la utilización del proceso de la pirolisis de los plásticos y su utilización como aditivo en combustibles como en los lubricantes para el motor (Quiroz, 2021)

En investigaciones a nivel nacional acerca de la generación de hidrógeno implementados en los motores de combustión interna a gasolina se tiene los siguientes estudios.

En investigaciones a nivel nacional según (Juma Yar y Martínez Anangón 2015) en su estudio “Diseño e instalación de un sistema de alimentación gasolina-h₂ en el motor de combustión interna del vehículo monoplaza tipo buggy del laboratorio de mecánica de patio de la ESPE extensión Latacunga” el análisis de los factores de emisiones contaminantes se tiene las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%.

El porcentaje de CO es mayor utilizando gasolina como combustible en tanto a los hidrocarburos no combustibles, existe una considerable disminución en partículas por millón. El sistema convencional genera 275 ppm de HC, a diferencia del sistema dual que produce 143 ppm de HC, obteniéndose una disminución del 48%. Se concluyó la generación de gas HHO produce un carburante que resulta ser amigable con el medio ambiente ya que reduce considerablemente las emisiones de gases contaminante producto de la combustión.

Las emisiones de CO presentaron una disminución de 20,51%, los hidrocarburos no combustionados disminuyeron en un 48%, las emisiones de CO₂ se redujeron en un 5,52% y un mínimo aumento de 1,02% de O₂.

Según la investigación de (Caiza 2015) estudio titulado “Instalación de un generador de hidrógeno en un motor de combustión interna para reducir la contaminación” realizada en la ciudad de Quito se obtuvieron los resultados mediante una serie de prueba en el dinamómetro, obteniendo un porcentaje de aumento del 5% aproximadamente con menor consumo de combustible y menor emisión de gases tóxicos. Se concluyó que con el vehículo en ralentí aproximadamente se redujo de un 5 a 10 % y con el vehículo en plena carga se obtuvo una disminución de 50 a 60% en las emisiones de los principales gases contaminantes.

La investigación de (Suarez, 2018) que lleva por título “Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para los motores Kia, en 3ero de bachillerato de la institución educativo particular “LATINOAMERICANO” en el sector de Lumbisi, año lectivo 2017-2018” análisis realizado en la ciudad de Quito estudio que se llevó a cabo mediante levantamiento de información de instalación adecuada con la ayuda de la utilización de cuestionarios para manejo del equipo de generador de hidrógeno HIDROXIECUADOR.

En esta investigación se concluyó que la implementación de combustibles auxiliares no contaminantes que mejoran el rendimiento del motor de combustión interna tanto en el consumo de combustible con un ahorro aproximado del 8, 91% y un aumento en torque y potencia del motor del 5,65% a sus condiciones normales de operación.

De acuerdo a la investigación de (Chamorro, 2017) que se titula como: “Instalación de una celda Electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina Marca Ford modelo Ecosport Freestyle 2.0l para mejorar su Eficiencia” investigación realizada en la ciudad de Latacunga estudio que se llevó a cabo mediante pruebas en el banco dinamométrico en el cual se evaluó el aporte a las prestaciones del motor, emisiones y el ahorro de combustible en ruta obteniéndose los siguientes resultados utilizando un sistema de generación de hidrogeno de la empresa HIDROXIECUADOR en el cual se obtuvo un incremento en su potencia máxima a 6400 rpm con el vehículos en condiciones estándar de 134,4 HP y con la implementación del generador de hidrógeno de 137,1 de forma que se obtuvo un 2,7 HP de incremento en potencia y un incremento de 2,2 ft-lb también se analizó el consumo de combustible real en ruta para lo cual se consideró un trayecto de 105 km evidenciando un ahorro de 0,535 galones que representa 0,79 USD.

Otra de las investigaciones nacionales indica según (Tito, 2022) en su estudio denominado “Implementación de un generador de hidrógeno de un sistema dual fuel hidrógeno / gasolina de un vehículo corsa Wind” estudio realizado en la ciudad de Quito la misma que se implementó mediante la utilización de elementos eléctricos y electrónicos.

Las pruebas: mecánicas, análisis de gases, consumo de combustible, con la colaboración de la secretaria del Ambiente en la ciudad de Quito como resultados se obtuvo que el ahorro de combustible al 23,5%, reducción de hidrocarburos no combustionados al 51%, óxidos de nitrógeno al 46%, monóxido de carbono al 2%, incremento de potencia y torque de 0,8 Hp y 3,04 Nm. Finalmente en esta investigación se puede concluir que el rendimiento del motor del vehículo tuvo un incremento de 0,0054 equivalente al 0,0054%; de incremento en el rendimiento con la utilización del sistema dual-fuel.

La metodología utilizada según la investigación de (Quizhpilema, 2021) investigación titulada como: Análisis comparativo del Consumo de combustible (gasolina) en distintas marcas de vehículos con similar cilindraje en el cual se realizó 3 pruebas de ruta para cada vehículo, la ruta establecida fue CAÑAR-CUENCA-GUALACEO-CAÑAR con una distancia de 156 km, los vehículos seleccionados fueron: Chevrolet Aveo Activo, Toyota Corolla y Hyundai Veloster en el cual se empleó la metodología de diferencial de tanqueo para el cálculo del consumo de combustible los resultados obtenidos fueron los siguientes: Chevrolet Aveo con un consumo de 69,54 km/galón, el Toyota Corolla 60,90 km/galón y el Hyundai Veloster 44,88 km/galón.

El considerable crecimiento de la población ha incidido en el crecimiento del parque automotor a nivel mundial como consecuencia se tienen el alto índice de contaminación por parte de la utilización de los combustibles fósiles. Es lógico entonces entender la preocupación de la sociedad el implementar nuevos sistemas con cambios mínimos o que no requiera modificaciones considerables en un vehículo con la finalidad de mejorar su eficiencia, reducir el consumo de combustible y mejorando las prestaciones del motor en tanto a torque y potencia

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Motor de combustión Interna

Los motores de combustión interna son máquinas que transforman la energía química del combustible en energía mecánica a través del mecanismo biela manivela o también considerados motores alternativos que combinan 2 tipos de movimiento el movimiento circular y el movimiento vertical, aunque la mayor parte del trabajo sea desperdiciado por pérdidas de calor, pérdidas mecánicas y las carga para mover otros componentes auxiliares. (Payri y Desantes , 2011)

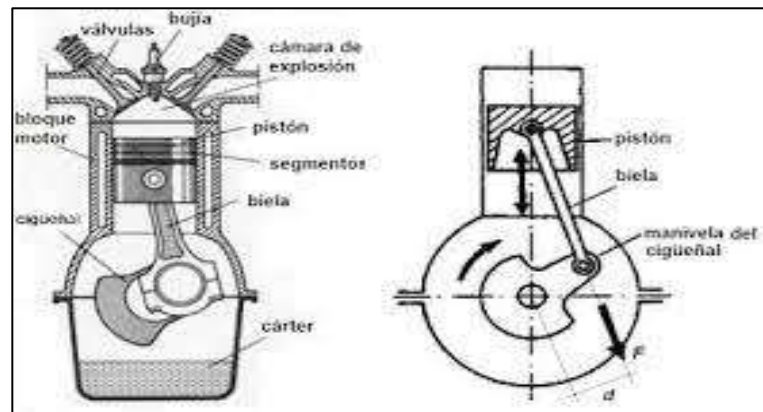


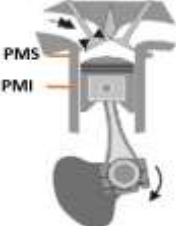
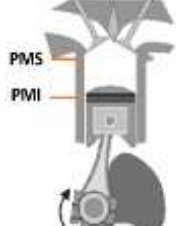
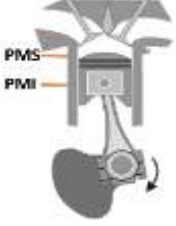
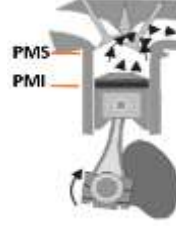
Ilustración 1-2: Mecanismo Biela Manivela

Fuente: (Hernández y Morales, 2014)

2.2.1.1. Etapas de los Motores de encendido provocado (MEP)

Es la sucesión de operaciones que la mezcla aire y combustible se ejecuta dentro del cilindro, necesarias para que el pistón realice una carrera básicamente el ciclo de combustión consiste en 4 tiempos que comprende: admisión, compresión, explosión, escape.

Tabla 1-2: Tiempos de un motor de encendido provocado MEP

Admisión	Compresión
<p>El pistón desciende desde el PMS (Punto Muerto Superior) hacia el punto muerto inferior (PMI) teniendo en cuenta que la válvula de admisión se encuentra abierta.</p>	<p>El pistón asciende la carrera desde el Punto muerto Inferior (PMI) hasta el Punto muerto Superior (PMS) Comprimiendo la mezcla aire-combustible con la consideración de que las 2 válvulas deben estar cerradas</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Etapa de Admisión</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Etapa de Compresion</p> </div>
Explosión	Escape
<p>Se genera la etapa de trabajo gracias a la adición de una chispa en la mezcla la carrera desciende desde el PMS hasta el PMI además se tiene las 2 válvulas también permaneces cerradas.</p>	<p>Finalmente se termina el ciclo de combustión y libera todos los residuos o emisiones contaminantes al escape el pistón asciende desde el PMI hasta el PMS con la consideración que la válvula de escape debe estar abierta.</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Etapa de Exploción</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Etapa de Escape</p> </div>

Realizado por: Guaman, J., 2023

2.2.1.2. *Proceso de Combustión MEP*

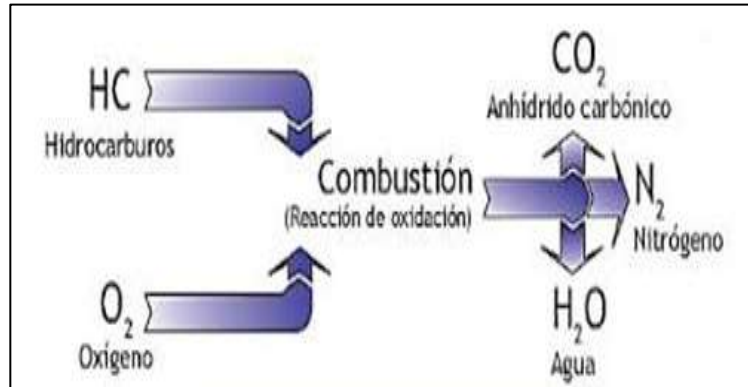


Ilustración 2-2: Esquema de combustión perfecta

Fuente: (Sánchez, 2009)

Se considera de encendido provocado por el aporte de energía exterior en un punto de la cámara de combustión para lo cual es fundamental conseguir la mezcla homogénea en todo el volumen de la cámara de combustión.

La idealización homogénea radica en la proporción ideal de 14,7 partes de aire por una de combustible principio básico en los motores a inyección indirecta gasolina con un valor de lambda igual a 1. Sin Embargo, en los motores a gasolina de inyección directa no cumple esta condición ya que trabaja con valores de lambda mayores a 1 estrategia para la reducción de emisiones y gases contaminantes. (Bonnea y Souchet, 1997)

2.2.1.3. *Parámetros ambientales que influyen en la combustión*

Existen diferentes parámetros o condiciones ambientales que influyen en el proceso de combustión de un motor MEP como los que se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Parámetros Ambientales que intervienen en la combustión MEP

Parámetro:	Efecto:
Densidad del aire	Puede verse afectado por las distintas condiciones atmosféricas dependiendo su variación de alta a baja el motor funcionara con mezclas ricas y pobre respectivamente
Temperatura del Ambiente	La temperatura es un parámetro de importancia ya que es inversamente proporcional a la densidad del aire dado que si la temperatura aumenta la densidad del aire disminuye

Humedad	El efecto significativo es en el octanaje de la gasolina ya que este parámetro inversamente proporcional al octanaje
Altitud	Parámetro de importancia ya que está directamente relacionado con los demás parámetros descritos. En los motores MEP radica la incidencia en el nivel de octanaje ya que para el correcto funcionamiento del motor decrece entre 1 y 2 octanos por cada 100 metros de ascenso sobre el nivel del mar Además, la desventaja de emitir mayor concentración de contaminantes en los gases de escape debido a que el volumen de oxígeno es menor y por lo tanto habrá un aumento en el consumo de combustible
Presencia de contaminantes en el aire	Es la presencia de materias en el aire que intervengan en molestias en la salud de los seres vivos en general.

Realizado por: Guaman, J., 2023

2.2.1.4. Tendencias actuales de los Motores de combustión Interna

La tecnología downsizing, es un método que consiste en reducir el tamaño de los motores de combustión interna para reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes manteniendo o aumentando la potencia y las prestaciones a sus modelos y versiones anteriores para lo cual deben cumplir ciertas características para cumplir las estrictas normativas euro. (Actualidadmotor, 2017b)

Los fabricantes de vehículos se han sumado a esta nueva tendencia marcas reconocidas como: Audi, VW, Renault, Fiat, Mazda, Ford han revolucionado en el sector y la fabricación de motores más pequeños con lo cual busca reducir el consumo y emisiones de gases contaminantes.

Los combustibles alternativos

Los combustibles Alternativos son los derivados de otras fuentes además del petróleo nacen con la finalidad de reducir la dependencia del uso de los combustibles fósiles y otros de fuentes renovables. Además, estos combustibles producen menos contaminación que los combustibles fósiles. (EPA, 2020)

Tabla 3-2: Los combustibles alternativos en la industria automotriz

Combustibles Alternativos derivados de otras fuentes	
	Etanol: Es producido en Ecuador derivado principalmente de la caña de azúcar
	Biodiesel: Es extraído a partir de aceites vegetales y grasas animales
	Electricidad: utilización de la electricidad considerada una de las fuentes de cero emisiones contaminantes sin considerar La fuente de producción
Combustibles Alternativos de derivados fósiles	
	Gas Natural: Combustible fósil que genera menos contaminación de aire y gases de efecto invernadero
	Propano: Combustible fósil abundante en el país que genera contaminadores de aire y gases de invernadero menos dañinos.

Fuente: (EPA, 2020)

Además, el combustible en auge hidrogeno es considerado dentro de los combustibles alternativos es el Hidrogeno un gas derivado a partir de fuentes renovables y a partir de derivados fósiles a través de procesos de producción como la transformación molecular, la transformación de carbono y la electrolisis del agua

2.2.1.5. Contaminantes producidos por los motores de combustión interna MEP

Los contaminantes producidos por las diferentes fuentes móviles especialmente en vehículo particulares utilizan combustibles a partir del gas licuado del petróleo y están compuestos principalmente por de carbono e hidrogeno. (Cruz y Alomaliza, 2020)

La reacción de los carburantes se produce una serie de gases los mismos que pueden ser nocivos, clasificados como: Inofensivas y Nocivos.

Tabla 4-2: Gases Provenientes de Combustión

Gases Inofensivos	Gases Nocivos
Nitrógeno (N)	Monóxido de Carbono (CO)
Oxígeno (O)	Hidrocarburos (HC)
Dióxido de Carbono (CO2)	Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Hidrógeno (H)	Plomo (Pb)
Vapor de Agua (H ₂ O)	Material Particulado (ppm)

Realizado por: (Guaman, J., 2023)

2.2.1.6. Normativas de emisiones de gases de escape

Las normativas de emisiones de escape permiten que los motores de combustión interna limiten los índices de contaminación debido al impacto ambiental producidos en los últimos tiempos. Además, los distintos países de América y Europa preocupados por esta situación han optado por hacer cumplir estas normativas.

Legislación EURO y sus límites de emisiones

Las normativas internacionales tienen sus inicios a partir del año 1992 considerada o denominada normas EURO. (Autocrash, 2022b). Las disposiciones y los nuevos requisitos tienen la finalidad de disminuir las emisiones contaminantes emitidas al medio ambiente sin causar ningún tipo de perjuicio para la salud de las personas y seres vivos

Estas normativas son clasificados de acuerdo con el tipo de vehículo cuyo encendido sea por chispa y dependiendo del año en vigor se lo considera como EURO1, EURO 2, EURO 3, etc.

Tabla 5-2: Límites de emisiones por legislación EURO

Norma euro	Año de vigencia	Límite de Emisiones (g/km)				
		CO	HC	NO _x	PM	PN (1/km)
I	1992	2,72	0,97	-	-	-
II	1996	2,20	0,50	-	-	-
III	2000	2,30	0,20	0,15	-	-
IV	2005	1,00	0,10	0,08	-	-
V	2009	1,00	0,10	0,06	0,05	-
VI	2014	1,00	0,10	0,06	0,05	6X10 ¹¹

Fuente: (Vega et al., 2019, pp.23-31).

Como se muestra la Tabla 5-2 que indica los límites de emisiones por legislación EURO a partir del año 1992 con la norma EURO 1 hasta la Norma EURO 6 en el año de 2014 como consideración se evidencia la disminución de los límites de emisiones contaminantes.

Ecuador y sus límites de emisiones

Los límites de emisiones en el Ecuador se dan de acuerdo con los métodos dinámicos y estáticos basadas en las normativas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) es un organismo ecuatoriano para la normalización y certificación. Además, La Norma NTE INEN 2204:2002 establece los límites permisibles en los centros de revisión a nivel nacional.

Tabla 6-2: Límite máximo de emisiones en Ecuador – Método Estático

Año	% CO (Volumen)		Ppm HC (Volumen)	
	0-1500 msnm	1500-3000 msnm	0-1500 msnm	1500-3000 msnm
2000 y Posteriores	1,00	1,00	200,00	200,00
1990 a 1999	3,5	4,5	650,00	750,00
1989 y Anteriores	5,5	6,5	1000,00	1200,00

Fuente: (Recalde y Revelo, 2015)

Según la Tabla 6-2: se puede observar los límites máximo de emisiones el método estático en el Ecuador establece según la normativa INEN 2204:2002 característica o parámetros que deben cumplir los vehículos a partir del año 2000 y anteriores.

Tabla 7-2: Límite máximo de emisiones en Ecuador - Método dinámica

Categoría	Peso del vehículo	gCO/km	gHC/km	gNO _x /km	Prueba
Prueba con ciclo americano					
Livianos (mayor de 2000)	-	2,10	0,25	0,62	FTP-75
Medianos (mayor de 2000)	3860	6,20	0,50	0,75	FTP-75
Prueba con ciclo europeo					
Livianos (mayor de 2000)	3500	2,72		0,97	ECE+EUDC

Fuente:(Recalde y Revelo, 2015)

En la Tabla 7-2: se puede observar los límites máximos de emisiones el método Dinámico en el Ecuador establece según la normativa INEN 2204:2002 característica o parámetros que deben cumplir según el tipo de vehículos ya sean livianos, medianos y pesados a partir del año 2000 y anteriores.

Factores de Emisión

Los factores de emisiones son indicadores en los estudios realizados para disminuir el impacto ambiental para definir nuevas estrategias y validar inventarios de emisiones. Además, es considerado como uno de los programas de control atmosférica considerado como la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmosfera y una unidad de consumo de energía o unidades de producción. (Fajardo y Rodríguez, 2018a, p.7)

Métodos directos para el cálculo de factores de emisión

Los métodos directos para el cálculo de los factores de emisión representan las emisiones de un vehículo reales de operación, sin embargo, los costos de adquisición para pruebas son muy costosos los métodos más comunes como: Sensor remoto, Medición a bordo y mediante Pruebas en el banco dinámico. (Fajardo y Rodríguez, 2018b, p.8)

Métodos indirectos para el cálculo de factores de emisión

Basa su cálculo en modelos internacionales que utilizan información de los métodos directos ajustada a las condiciones teóricas de cada modelo siendo los más comunes y utilizados los siguientes ((MOBILE 6, MOVES, IVE, COOPERT). (Fajardo y Rodríguez, 2018c, p.9)

Factores de emisión mediante modelo de combustión simplificado

Tabla 8-2: Consideraciones para el Modelo de combustión Simplificado

Consideraciones para el cálculo de factores de emisión	
Consumo	Completo consumo de combustible sin residuos
Carbono	Emitido como CO ₂ , CO o como hidrocarburos no quemados equivalente al propano (C ₃ H ₆)
Oxígeno	Cantidades estequiométricas de aire por tanto si existe la evidencia de oxígeno adicionales no causa ningún efecto en la emisión de gases
Residuos Adicionales	Productos de la combustión los N ₂ y NO

Fuente: (Fajardo y Rodríguez, 2018)

Debido a que el CO₂, CO y HC son resultados de la combustión que contiene carbono es posible desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible. Además, es posible calcular la cantidad de CO, HC y NOX emitidos por galón de combustible.

2.2.1.7. Celdas electrolíticas

Son mecanismos electroquímicos que están compuestos de un recipiente en el cual se almacena una disolución acuosa o también denominada electrolito cuya función principal es conducir los iones. Además, se sumergen los electrodos de materiales solidos conductores en sus respectivos polos sea cátodo (reducción) y Ánodo (Oxidación) conectados respectivamente a una tensión de alimentación continua. Las celdas Electrolíticas.(Jiménez y Marín 2021)

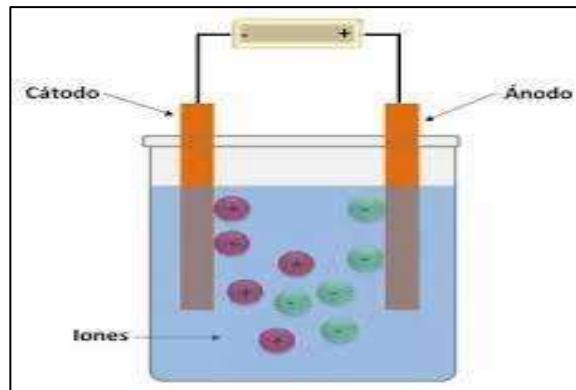
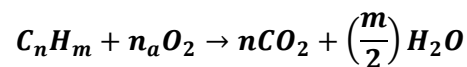


Ilustración 3-2: Celdas electrolíticas

Fuente: (Moron, 2017)

2.2.1.8. Estequiometría de los hidrocarburos $C_n H_m$

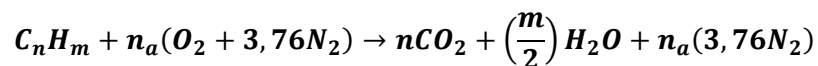
Para el proceso de combustión ideal de un hidrocarburo, al existir el oxígeno necesario, el carbono y el hidrógeno que forman parte del combustible pueden ser oxidados completamente agua y dióxido de carbono. Para un $Kmol$ de Hidrocarburo genérico, formado por hidrógeno y carbono, al realizarse el balance de la reacción de la combustión donde se hace reaccional un $Kmol$ de $C_n H_m$ con n_a Kmoles de O_2 (Fajardo y Rodríguez, 2018d, p.9)



El número de moles de oxígeno necesario para oxidar completamente el combustible se da con la siguiente expresión:

$$n_a = n + \frac{m}{4}$$

Al considerar el oxígeno del aire atmosférico se tienen que la composición simplificada para el aire seco en términos molares es de 3,76



Metilo CH_3

Se asume que el combustible consiste principalmente de carbono e hidrógeno en cantidades despreciables como se evidencia en la Tabla 9-2 se observa el desarrollo de la formula molecular equivalente para un combustible que contienen 80% peso carbono y 20% peso de hidrógeno

Tabla 9-2: Formula molecular CH₃ equivalente

COMPONENTES:	lb por 100 lb de combustible	Peso Molecular	Lb mol/100 lb de combustible	Lb mol /lb mol de carbono
Carbono (C)	80	12	6,7	1
Hidrógeno (H)	20	1	20	3

Fuente: (Fajardo y Rodríguez, 2018)

Por lo tanto, se puede deducir que el peso molecular del combustible esta dado por la formula equivalente CH_y de la cual se tiene:

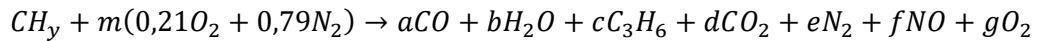
$$y = \left(\frac{\% \text{peso H}}{\% \text{peso C}} \right) \left(\frac{MW_C}{MW_H} \right) \quad (1)$$

Donde:

MW_C : Peso molecular del carbono

MW_H : Peso molecular del hidrógeno

En definitiva, el balance de masa para la combustión, despreciando el exceso de oxígeno este dado por:



Donde las variables a, b, c, d, e, f y m son coeficientes estequiométricos desconocidos y definidos como:

Donde:

m : Moles formados de aire consumido/mol de combustible consumido

a : Moles formados de CO / mol de combustible consumido

b : Moles formados de H₂O / mol de combustible consumido

c : Moles formados de C₃H₆ / mol de combustible consumido

d : Moles formados de CO₂ / mol de combustible consumido

e : Moles formados de N₂/ mol de combustible consumido

f : Moles formados de NO/ mol de combustible consumido

En vista de los átomos contenidos en la combustión no pueden ser creados ni destruidos principio básico de la energía de forma que la ecuación de balance tanto para los reactivos como para los productos de la reacción quedaría de la siguiente forma:

Tabla 10-2: Balance químico por el método algebraico

Elemento	Reactantes	Productos	Ecuación
Carbono	1	$a + 3c + d$	(1)
Hidrógeno	y	$2b + 6c$	(2)
Oxígeno	$0,42m$	$a + b + 2d + f + 2g$	(3)
Nitrógeno	$1,58m$	$2e + f$	(4)

Realizado por: Guaman, J., 2023

Mediante el sistema de resolución de ecuaciones, se realiza la medición de gases (concentraciones volumétricas) en pruebas estáticas y dinámicas para la obtención de datos adicionales

$$R_{CO} = \left(\frac{CO}{CO_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (5)$$

$$R_{HC} = \left(\frac{HC}{CO_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (6)$$

$$R_{NO} = \left(\frac{NO}{CO_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (7)$$

Donde:

R_{CO} , R_{HC} y R_{NO} son las razones de %CO a %CO₂; %HC a %CO₂ y %NO a %CO₂. Obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$a = R_{CO}d \quad (8)$$

$$c = R_{HC}d \quad (9)$$

$$f = R_{NO}d \quad (10)$$

Reemplazando (8) y (9) en (1) ecuaciones en la ecuación se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (11)$$

Con los valores de a , c y f se pueden obtener los factores de emisión (EF') en gramos de contaminante por gramo de combustible consumido de la siguiente forma:

$$EF'_{CO} = a * \frac{MW_{CO}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{CO}}{R_C + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{Fuel}} \quad (12)$$

$$EF'_{HC} = c * \frac{MW_{HC}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{Fuel}} \quad (13)$$

$$EF'_{NO} = f * \frac{MW_{NO}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{Fuel}} \quad (14)$$

Octano C_8H_{18}

Para la evolución del octano se precede a determinar el peso molecular del combustible de la siguiente manera:

$$MW_{Fuel} = \frac{12gC}{molC} * \left(\frac{1molC}{molFuel}\right) + \frac{1gH}{molH} * \left(\frac{2.25molH}{molFuel}\right) = 14.25 \frac{gFuel}{molFuel} \quad (15)$$

Introduciendo finalmente la densidad del combustible $\delta_F(kg/m^3)$ y el consumo de combustible por la distancia recorrida $FC(m^3/km)$, se puede obtener el factor de emisión en gramos por cada contaminante por kilómetro recorrido se obtienen los factores de emisión en gramos por cada kilómetro recorrido. (Fajardo y Rodríguez, 2018e)

$$EF = EF' * \delta_{Fuel} * FC \quad (16)$$

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel*FC}}{0.01425} \quad (17)$$

$$EF_{HC} = \frac{g_{HC}}{km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel*FC}}{0.01425} \quad (18)$$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{km} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel*FC}}{0.01425} \quad (19)$$

2.2.2. El hidrógeno como combustible

El hidrógeno es el combustible más limpio a partir del H_2 y aire O_2 , se genera agua y energía eléctrica a diferencia de los combustibles basados en el carbono el hidrógeno no produce subproductos nocivos con su combustión solo se genera energía y agua limpia cuando se combina con el oxígeno en una pila de combustible. (Fajardo y Rodríguez, 2018f)

Tabla 11-2: Comparativa del Hidrógeno con otros combustibles

Hidrógeno	Gasolina	Gas Natural	Metano	Diesel
1 kg	2,78 kg	(2,54-3,14) kg	2,40 kg	2,80 kg
1 litro (líquido)	0,268 l	-	-	0,2361 l
1 litro (gas)	0,0965 l	(0,3-0,351) l	0,240 l	0,0850 l

Fuente: (Fajardo y Rodríguez, 2018)

2.2.2.1. Propiedades físicas y químicas del Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más simple y ligero de todos los elementos y gases al ser 14 veces más liviano que el aire capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible alrededor de los 33,3 kWh/kg frente a los 13,9 kWh/kg del gas natural o los 12,4 kWh/kg del petróleo lo que se traduce en una mayor eficiencia como combustible alternativo.

Bajo condiciones estándar la densidad del hidrógeno gaseoso(H₂) es de 0,08375 kg/m³ como su volumen específico es 11,940 m³/kg a diferencia de encontrarse en condiciones estándares la densidad y el peso específico del hidrógeno se lo puede calcular a partir de la ley del gas ideal

El hidrógeno forma componentes químicos e inorgánicos con la interacción de otros elementos como el agua representa una fuente renovable de hidrógeno combustible dado que la combustión de hidrógeno forma la misma cantidad de agua que lo produjo, sin la existencia del dióxido de carbono o contaminantes es por ello su denominación de una energía limpia prometedor para el futuro. (Zeceña , 2020)

Tabla 12-2: Propiedades físicas y químicas del hidrógeno

Parámetros	Valor	Unidades
Peso molecular	2,016X10 ⁻³	Kg * mol ⁻¹
Punto de fusión	13,96	K
Punto de ebullición	14	K
Densidad a 4,2 K (solido)	89	Kg * m ⁻³
Densidad a 20,4 K (liquido)	71	Kg * m ⁻³
Densidad a 0 °C y 101,3 kPa	8,99x10 ⁻²	Kg * m ⁻³
Temperatura de auto ignición	858	K
Límites de inflamabilidad en oxígeno	4 – 94	%
Límites de inflamabilidad en aire	4 – 74	%

Realizado por: Guaman, J., 2023

2.2.2.2. Desafíos para la producción de hidrógeno

Métodos de Producción del Hidrógeno

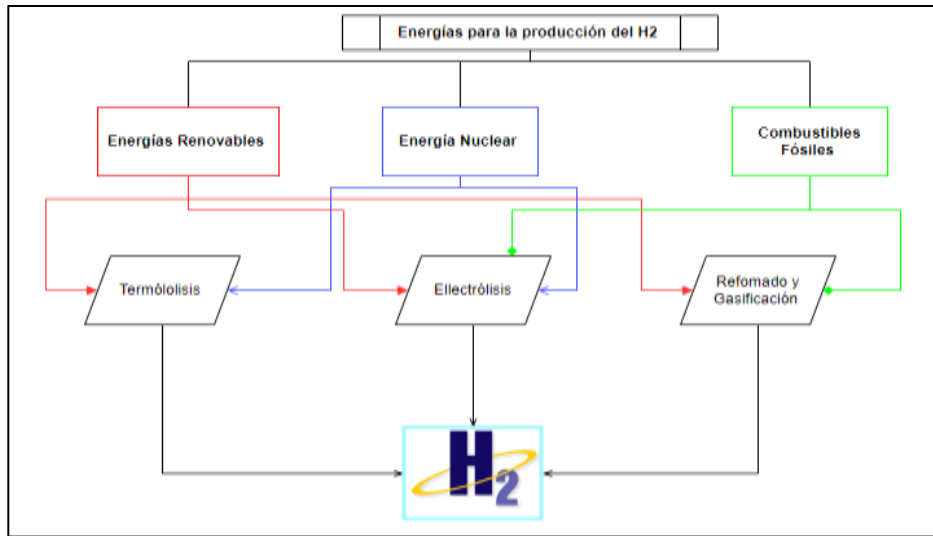


Ilustración 4-2: Métodos de producción de Hidrógeno

Realizado por: Guaman, J., 2023

La producción de hidrógeno a partir de fuentes Industriales lo cual (RINCONEDUCATIVA, 2020a) deduce que las principales fuentes de producción.

- Mediante la electrolisis este proceso necesita un aporte energético, que será suministrado energía eléctrica a los electrodos de una célula electroquímica cátodo (polo positivo) y ánodo (polo negativo).
- A partir de combustibles fósiles ya que son portadores de hidrógeno y lo contienen en sus moléculas. Además, para obtenerlo como gas hidrógeno basta con hacer reaccionar con agua utilizando un catalizador para facilitar la reacción proceso denominado reformado por agua
- El tratamiento de la biomasa da lugar a la formación del gas denominado como biogás su obtención se basa en procesos químicos de reformado para la obtención del hidrógeno (H₂).

Costo de producción del hidrógeno

Los costes de producción varían según la fuente de producción como: combustibles fósiles y biomasa o mediante la utilización de energías renovables a través del proceso de electrolisis del agua. Sin embargo, el gas natural es la principal fuente de producción global cuya producción a nivel mundial supera el 6% del uso global del gas natural. (RINCONEDUCATIVA, 2020b)

Seguido de la producción por carbón y la cantidad restante de producción de hidrógeno se da a través del uso de petróleo y electricidad. Aunque, actualmente la tendencia es el aumento de la

producción del hidrógeno verde es decir proveniente de las energías renovable el coste por kilogramo en el mercado europea abarca un rango aproximado entre los 8 a 10 dólares. (NATIONAL GEOGRAPHIC ,2017a)

Almacenamiento

El almacenamiento es uno de los mayores desafíos en la producción de hidrógeno (H₂) como combustible vehicular. Debido, a la barrera de implementación para los cambios tecnológicos radicales. Las propiedades físicas complementarias como la densidad y presiones para su almacenamiento. Se deben utilizar presiones muy altas para almacenarlos en tanques de almacenamiento bajo los siguientes métodos: En forma de gas o líquida. (RINCONEDUCATIVA, 2020c)

Inflamabilidad

El hidrógeno es una molécula no explosiva se mantiene estable en todo instante dado que para su deflagración necesita una fuente de ignición externa. Además, se requiere para su inflamación de 3 condiciones esenciales: oxidante (Aire u Oxígeno), límites de inflamabilidad y fuente adecuada de ignición. (NATIONAL GEOGRAPHIC ,2017b)

Seguridad

El hidrógeno es un gas muy inflamable y explosivo debido a su densidad más baja que el aire, para el cual el almacenamiento, el suministro y el sistema de seguridad están directamente relacionados entre sí su aporte de energía de 0,017 MJ, sensible al fuego. La detonación de hidrógeno ocurre en una relación de concentración volumétrica de hidrógeno a aire tan bajo como 4% y tan alto como el 75% y su penetrabilidad en muchos materiales. (NATIONAL GEOGRAPHIC ,2017c)

La Electrolisis

La electrolisis es un método que consiste en la utilización de energía eléctrica que atraviesa por unos electrodos que se encuentran sumergidos en un electrolito mediante una inducción química no espontánea. Su volumen de producción depende básicamente de dos parámetros la cantidad de voltaje y amperaje que circulen por los electrodos. (Caiza, 2015a)

Electrolisis del agua

La electrolisis del agua es un proceso electroquímico mediante el cual se suministra un potencial eléctrico a dos electrodos logrando de esta forma separar las partículas que contiene el H₂O dicho de otra forma se provoca una ruptura de los enlaces covalentes. Por consiguiente, se genera el estado gaseoso del hidrógeno y oxígeno (Caiza, 2015b)

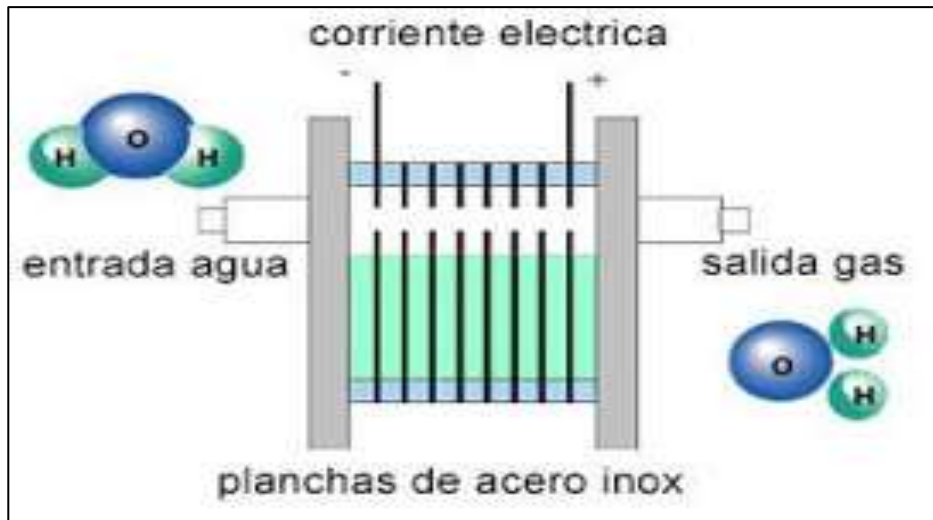
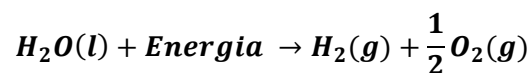


Ilustración 5-2: Electrolisis del Agua y separación de los Átomos de O y H

Fuente: (E. red, 2012)

La reacción química que se genera se lo expresa de la siguiente manera:



Reacción química de los electrolizadores alcalinos

La reacción química que se forma al someter a una tensión continua al sistema de generación. El hidrógeno diatómico se forma en el cátodo. Por lo tanto, los iones de hidróxido circulan por la membrana de separación y se combinan con el oxígeno en el ánodo.

Como resultado de esta reacción se obtienen los siguientes productos tanto en el cátodo como el ánodo en cada uno de sus electrodos. (Jiménez y Marín, 2021)

Tabla 13-2: Obtención de la reacción química de los Electrolizadores Alcalinos

POLARIDAD	REACCIÓN QUÍMICA
Cátodo	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
Ánodo	$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$
Reacción química resultante (electrolisis)	$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

Fuente: (Jiménez y Marín, 2021)

2.2.3. Tipos de generadores de hidrógeno

En el mercado automotriz se evidencia varios tipos de generadores cada uno de estos presenta ventajas y desventajas respectivamente en la generación de hidrógeno principalmente son del

tipo de celda seca y celda húmeda por lo general la mayor parte de los sistemas utilizan la configuración de celda seca debido a su eficiencia de generación. (Caiza 2015b)

2.2.3.1. Generador de hidrógeno de celda seca vs celda húmeda

A este tipo de generador de hidrógeno se le conoce como de celda seca debido a su configuración en el cual las placas alcalinas no se encuentran sumergido en el agua directamente. Por tanto, los dos tipos de generadores de hidrógeno tanto la celda húmeda como la celda seca tienen el mismo funcionamiento, pero en este caso el agua circula por la parte interna de la celda como se puede observar en la siguiente figura se muestra la configuración de los tipos de generadores de hidrógeno en el cual se puede diferenciar claramente sus respectivos polos y su configuración de las placas presentes en el generador en la parte izquierda se encuentra el tipo de celda húmeda en el cual se observa que las placas electrolíticas se encuentran sumergidas en su totalidad, a diferencia de la otra configuración en el cual solo se evidencia el contacto de 2 polos o electrodos en contacto con el líquido electrolítico. (Caiza 2015; pp.65-68)

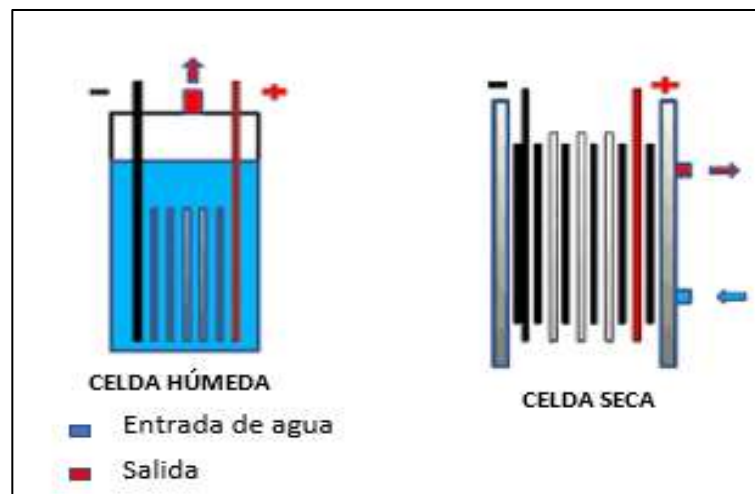


Ilustración 6-2: Tipos de generadores de hidrógeno

Fuente: (E. red,2012)

Funcionamiento

Para la obtención de generación de hidrógeno vehicular básicamente utiliza como electrolito el agua destilada o desmineralizada y una tensión de 12V DC (Corriente Continua) ya sea de una batería o una tensión externa de alimentación.

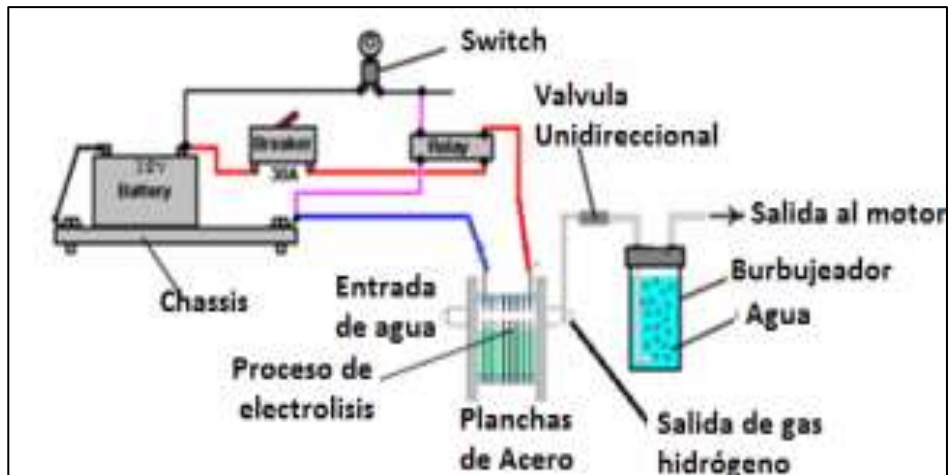


Ilustración 7-2: Partes de un sistema de generación de hidrogeno


Fuente: (E. red,2012)

Descripción de los componentes del generador de hidrógeno de celda húmeda

La configuración de los generadores de hidrógeno de celda húmeda es similar a la configuración de celda seca con la diferencia que en este tipo de generador se sintetiza en un solo bloque todos sus componentes en alguno de los casos.

Tabla 14-2: Componentes de generadores de hidrogeno

Relé Principal (Main Rele)		Dispositivo electromecánico alimenta la bomba de combustible, que toma la tensión de polarización para el arranque, y alimenta la unidad de control, los inyectores, la bobina y finalmente las bujías de encendido.
Depósito del Electrolito		Es un depósito que almacena el electrolito como también de ser el burbujeador razón por el cual em material debe ser adecuado para resistir elevadas temperaturas, humedad, corrosión, vibraciones y ser hermético.
Mangueras transparentes		Son conductos fabricados por Extrucción, diseñadas para transportar fluidos a baja presión por lo general son de material plástico (Policloruro de Vinilo)

Electrolito		Es una sustancia que contienen iones libres y hacen el papel de un medio conductor eléctrico por lo general consisten en iones en solución, razón por el cual se conoce como soluciones iónicas.
-------------	---	--

Realizado por: Guaman, J., 2023

Electrolitos recomendados para la generación de hidrógeno

Debido a que el agua no es un conductor de tensión es necesario agregar electrolitos (químicos) para aumentar el flujo de corriente se recomienda una pureza por encima del 95% en concentración para obtener mejores eficiencias de conductividad.(Caiza 2015d; pp. 75-77)

Tabla 15-2: Electrolitos recomendados para la generación de Hidrógeno

Hidróxido de Sodio NaOH	Hidróxido de Potasio (KOH)
El Hidróxido de Sodio también llamado (Soda Cáustica) es un electrolito muy eficiente, altamente conductor se encuentra disponible en pastillas, copos, gránulos y como una solución saturada al 50% disuelta en agua	El electrolito Hidróxido de potasio KOH al 90% de pureza es importante en la alta concentración de pureza debido a que mejora características conductoras del agua y mantener así la tensión correcta a través de las placas.

Realizado por: Guaman, J., 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el desarrollo de la implementación del sistema de generación de hidrógeno en un vehículo Great Wall M4 2017 de 1,5 litros utilizando como combustible la gasolina super de 87 octanos según el reporte del diario las primicias (Primicias,2022) representa los precios para el combustible se mantienen a 2,40 USD a partir del mes de octubre 2022.

Los datos experimentales que se registraran en la pruebas de ruta se realizó en la ciudad de Riobamba obtenidos a lo largo de los meses: Diciembre, Enero, Febrero del año 2022 y 2023 respectivamente en el transcurso de las principales avenidas y calles de la ciudad categorizado por circulación de vehículos livianos basada en la investigación de (ROCIÓ, M. del, SALAZAR et al. 2020) en el cual se evidencia la categorización de las principales avenidas y calles para los vehículos livianos.

3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación es de carácter cuantitativo debido a que se tiene la variación de los parámetros de funcionamiento del motor y las concentraciones de emisiones contaminantes en función de la altitud, régimen del motor, condiciones ambientales, entre otras, etc.

Mediante el monitoreo de los datos en vivo con la utilización de una interfaz OBD II se registrará parámetros importantes en el funcionamiento del motor como las siguientes: altitud, velocidad, régimen del motor, posición de apertura del TPS, sensor de flujo de aire, consumo de combustible, entre otros que servirán para correlacionar a los datos del analizador de gases el mismo que registra las concentraciones segundo a segundo y poder estimar los índices de factores de emisiones.

3.1.1. Variables independientes

Es el motivo o explicación de ocurrencia otro fenómeno. Por tanto, en la investigación se considera la variable que se pueda manipular el investigador. A continuación, en la tabla n se puede identificar las variables independientes o parámetros que intervienen en el funcionamiento del motor.

Tabla 1-3: Variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	
Altitud [m]	<ul style="list-style-type: none"> Se considera la altitud como variable independiente ya que para cada lugar o posición en la geografía se tiene un valor fijo
Tiempo [s]	<ul style="list-style-type: none"> Se considera independiente debido a que no hay factor que lo varíe
Temperatura Ambiental [°C]	<ul style="list-style-type: none"> Única debido a varios factores que intervengan en su variación
Densidad del aire [kg/m ³]	<ul style="list-style-type: none"> Su flujo varía dependiendo el lugar donde se encuentre

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.1.2. Variables Dependientes

Son los diferentes fenómenos que resultan a las varias condiciones o parámetros para su correcto funcionamiento del motor en este caso se deberá analizar estos parámetros en función del tiempo como también por la variación de la altitud en cada una de las rutas que se va a realizar la comprobación.

Tabla 2-3: Variables dependientes consideradas para la investigación

VARIABLES DEPENDIENTES	
Presión absoluta del múltiple de Admisión [Kpa]	Indica la presión de vacío en la admisión del motor
La economía del combustible [l/100km]	Depende de varios factores como distancia de recorrido, forma de trayectoria, estilo de conducción.
Temperatura del Motor [C°]	Depende de varias condiciones a las cuales este operando el motor.
Velocidad del vehículo [Km/h]	Es el tiempo que va a durar en recorrer una ruta hasta volver al lugar de origen.
Posición absoluta del pedal del acelerador [%]	Parámetro que indica la posición en porcentaje (%) de la total aceleración.
Avance de encendido para el cilindro 1 [grados]	Indica el avance de encendido en grados sexagesimales valor entre 17 y 23 °.
Revoluciones por minutos del motor [rpm]	Es un valor aproximado a la velocidad del motor bajo diferentes regímenes del giro del motor
Economía del combustible [l/100km]	Factor importante que estima el consumo de combustible segundo a segundo
Consumo instantáneo [gal/h]	Representa el consumo instantáneo en función del tiempo
Rendimiento [lt/km]	Indica la duración del combustible por km recorrido.
Emisiones [% y ppm]	Representan las concentraciones en % y ppm (partículas por millón) que emiten por el escape del vehículo.

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.2. Según la manipulación de la variable independiente

La variable independiente principal de este proyecto se ha considerado la variación del consumo de combustible en litros sobre kilómetro recorrido [Lt/km] obtenido en cada trayectoria mediante la estimación empírica de diferencia de abastecimiento realizada en la estación de servicio respectivamente. Además, el estudio es realizada en la ciudad de Riobamba ubicada en el Norte del Ecuador la misma que tiene una altitud de 2700 m.s.n.m y una presión atmosférica de 72 Kpa. Además, se consideró rutas dentro de la sierra ecuatoriana de forma que se evidencie la variación en los parámetros de Altitud $>2\ 754$ m.s.n.m y superiores e inferiores a este valor referencial para la investigación y su incidencia como aporte en la reducción de consumo de combustible y factores de emisiones.

3.3. Tipo de estudio

Una vez definido e identificado la problemática que se va a abordar con los objetivos planteados en esta investigación se puede afirmar que se trata de un estudio del tipo de campo o experimental previo a una revisión bibliográfica. Por tanto, bajo estos requerimientos en la investigación se procederá a analizar el comportamiento del vehículo bajo las condiciones de operación mediante pruebas de ruta y la utilización del banco dinamométrico.

3.4. Nivel de investigación

Se define de tipo predictivo - experimental debido al tipo de análisis mediante la utilización de varios equipos como la interfaz de OBD II, balanza, banco dinamométrico y analizador de gases todo este equipo se optó a utilizar previo a una revisión documental y bibliográfica bajo la normativa INEN 2204.

3.5. Diseño de investigación

A continuación, se detalla las estrategias en las cuales se basa la presente investigación con el propósito de cumplir con los objetivos planteados y responder a las hipótesis planteadas en el capítulo I. Además, de verificar el aporte a las prestaciones de torque, potencia del motor ante la implementación de un generador de hidrógeno de celda húmeda en un vehículo Great Wall M4 2017 el estudio pretende verificar la disminución del consumo de combustible y los factores de emisión. Además, se ha optado por emplear el diseño de carácter experimental en el cual se podrá identificar la variación de los parámetros en función del consumo de combustible en sus respectivas modalidades.

3.5.1. Diseño de investigación experimental

Se considera el Rendimiento de combustible en litros por cada kilómetro (lt/km) o rendimiento de combustible en sus respectivas modalidades de estudio y prueba considerada como la variable independiente. También, de la consideración de los parámetros de funcionamiento del motor cabe recalcar que además de los parámetros dinámicos considerados como la Velocidad, Aceleración y tiempos de Ralentí considerados los valores promedios que cumplan la condición de la diferencia relativa con una variación alrededor del 5%-15% entre los valores empleados para el cálculo de los factores de emisión analizada mediante la normativa nacional INEN 2204 para pruebas dinámicas regida en el Ecuador a partir del año 2002.

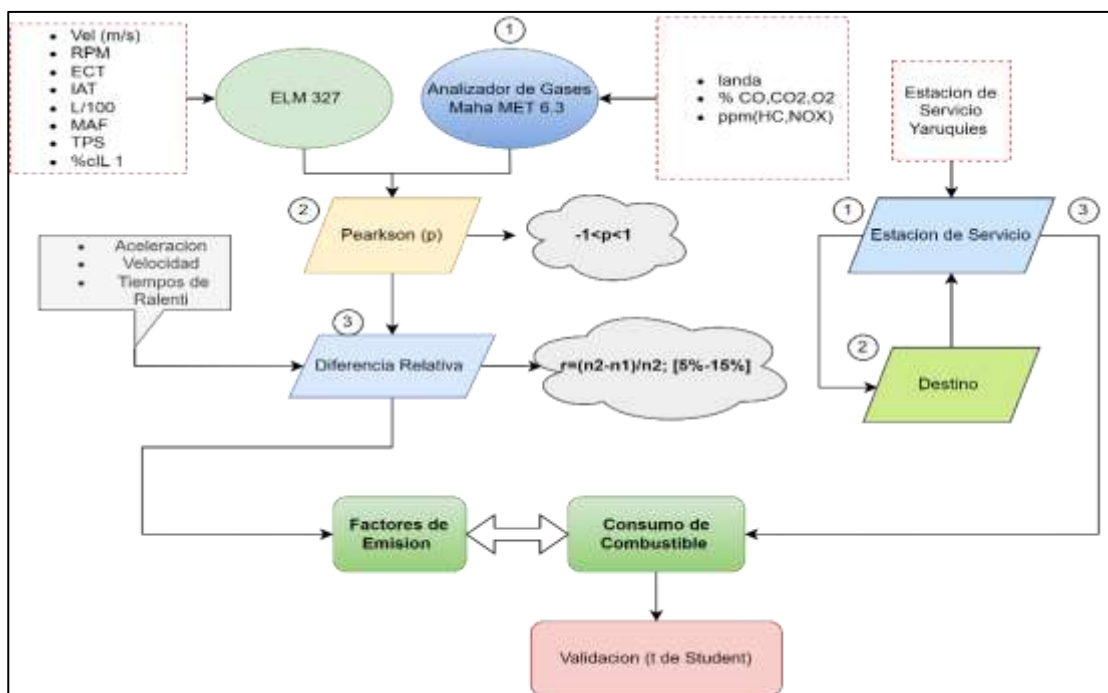


Ilustración 1-3: Diseño Experimental FE y consumo

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.5.1.1. Esquema del diseño de la investigación

La ilustración 1-3 indica el esquema del diseño de la investigación en el cual se detalla el procedimiento para la obtención del efecto sobre el consumo de combustible y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno mediante pruebas de ruta y la utilización de un banco dinamométrico y la balanza digital para la determinación al aporte de las prestaciones de torque, potencia y consumo motor del vehículo Great Wall M4 2017 y la validación de la incidencia en sus modalidades en la eficiencia del ahorro de combustible y factores de emisión.

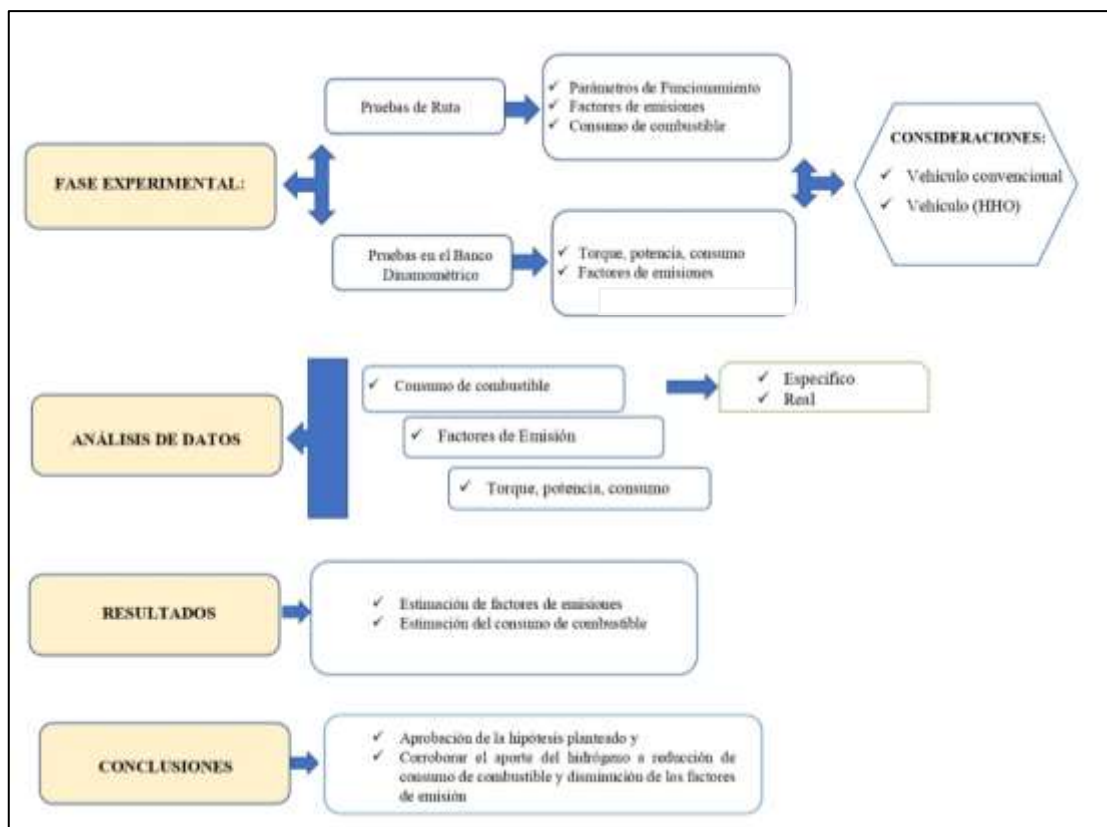


Ilustración 2-3: Esquema del diseño de investigación

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.6. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

La población de estudio se empleó un vehículo de la categoría del tipo SUV (Vehículo Deportivo Utilitario). Debido a que en la actualidad es uno de los segmentos de vehículos que mayor índice de ventas presenta según sus reportes de ventas AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador). hasta el mes de octubre del 2022 del mes de En-Oct 2022 se tiene un índice de Ventas alrededor de 53174 vehículos información que se puede apreciar en la Tabla 3-3.(AEADE 2022).

Tabla 3-3: Población por Segmento de ventas en el Ecuador 2022

SEGMENTO	Oct 2022	Oct 2021	En-oct 2022	En- Oct 2021
Suv	5 526	4 692	53 174	40 798
Automóvil	2 924	2 523	28 523	29 519
Camioneta	2 118	1 911	20 686	16 778
Camión	900	781	9 295	8 186
Van	361	254	3 660	2 825
Bus	108	26	746	246
TOTAL	11 937	10 187	116 084	98 352

Fuente: (AEADE 2022)

Según los reportes AEADE por el segmento de ventas en el Ecuador 2022 hasta el mes de octubre del 2022 del mes de En-Oct 2022 se tiene un índice de Ventas alrededor de 53174 vehículos información que se puede apreciar en la Tabla 3-3.(AEADE 2022).

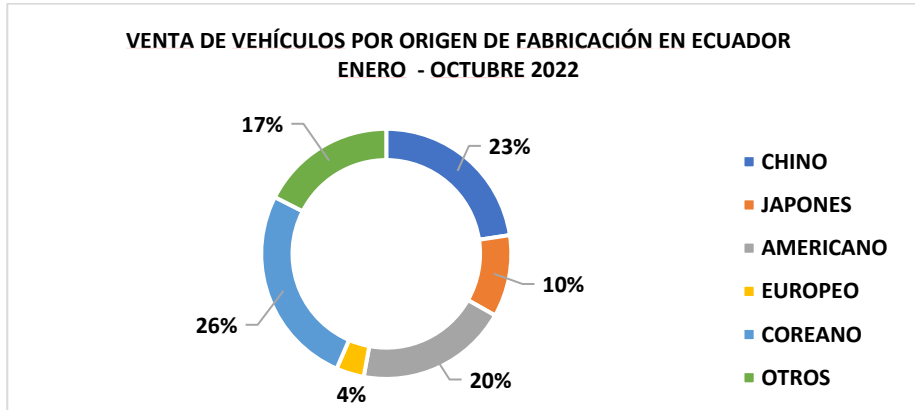


Ilustración 3-3: Ventas de Vehículos en el Ecuador por Origen de fabricación

Fuente: (AEADE 2022)

Se evidencia el notable crecimiento en ventas de los vehículos chinos en el Ecuador encontrándose en el puesto 2 de ventas por origen de fabricación sin duda los vehículos coreanos como Kia y Hyundai es el de mayores ventas en el Ecuador debido a que actualmente en el país se ensamblan esta marca de vehículos y su costo de adquisición se vuelve más módico entre otras características lo hace la marca anfitriona liderando el mayor índice en ventas en el Ecuador.

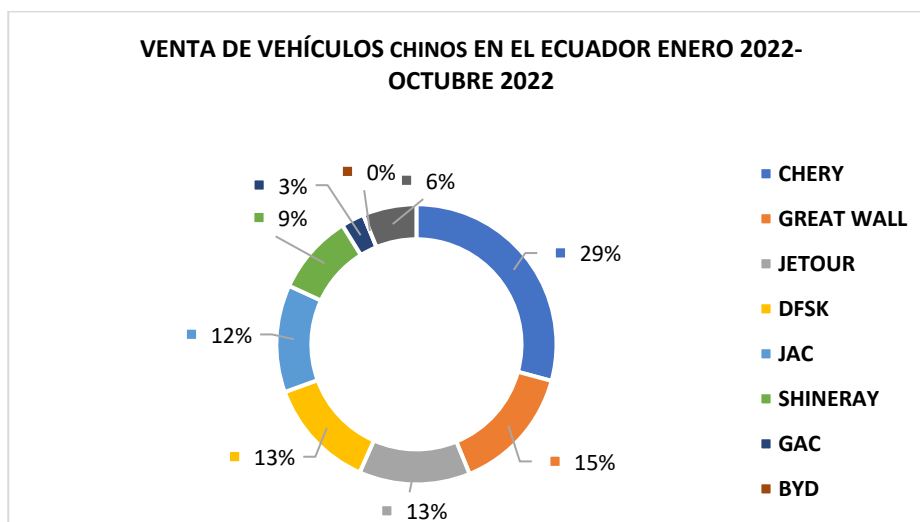


Ilustración 4-3: Venta de marcas de vehículos chinos en Ecuador

Fuente:(AEADE 2022)

Según (AEADE, 2022) reporte del mes de agosto del año de 2022 se puede evidenciar el notable crecimiento en ventas de la marca china Great Wall en el parque Automotor Ecuatoriano en un índice del 15% rango considerable en mención a otras marcas de gran prestigio como los vehículos americanos, europeos como: Ford, Toyota, Peugeot como puede evidenciar el crecimiento en ventas de la marca está dentro del puesto 2 de la marca china más vendida en el Ecuador con un rango del 15% a diferencia de su antecesor Chery con un 31%.

3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1. Obtención de referencias bibliográficas

Para llevar a cabo la investigación se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica en las principales fuentes confiables de navegación como: Google académico, Scielo, Scopus Elsevier, Latindex, Science Direct, entre otros, etc. Acerca de temas relacionados a la generación de hidrógeno a través de la electrolisis del agua implementados en vehículo de combustión interna con la finalidad de identificar cual tipo de generador de hidrógeno ofrece mayores prestaciones de generación en caudal sobre tiempo y mayor eficiencia energética sea del tipo de celdas secas o de celda húmeda.

En el Ecuador se encontraron algunas investigaciones acerca de la generación de Hidrogeno del tipo de celda seca como de mayor eficiencia frente a los de celda húmeda debido a características como la mejora en el diseño y disposición de sus componentes y partes con la consideración de aportar a la investigación se decidio seleccionar el generador de celda húmeda ya que bajo una revisión en abanico a partir investigaciones de 10 años de antigüedad se tuvo evidencia de investigaciones de muy pocas evidencia de investigaciones similares. Po lo tanto, la selección de este tipo de generador servirá para verificar su eficiencia tantas a las prestaciones del motor como en la verificación de los factores de emisiones y el consumo de combustible.

Para la incidencia de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna se identificó la variable independiente que es la altura ya que su variación en una trayectoria de recorrido hace que los demás parámetros cambien e influyen en el comportamiento del motor como la presión atmosférica, flujo de masa de aire, temperatura, avance de encendido entre otros, etc.

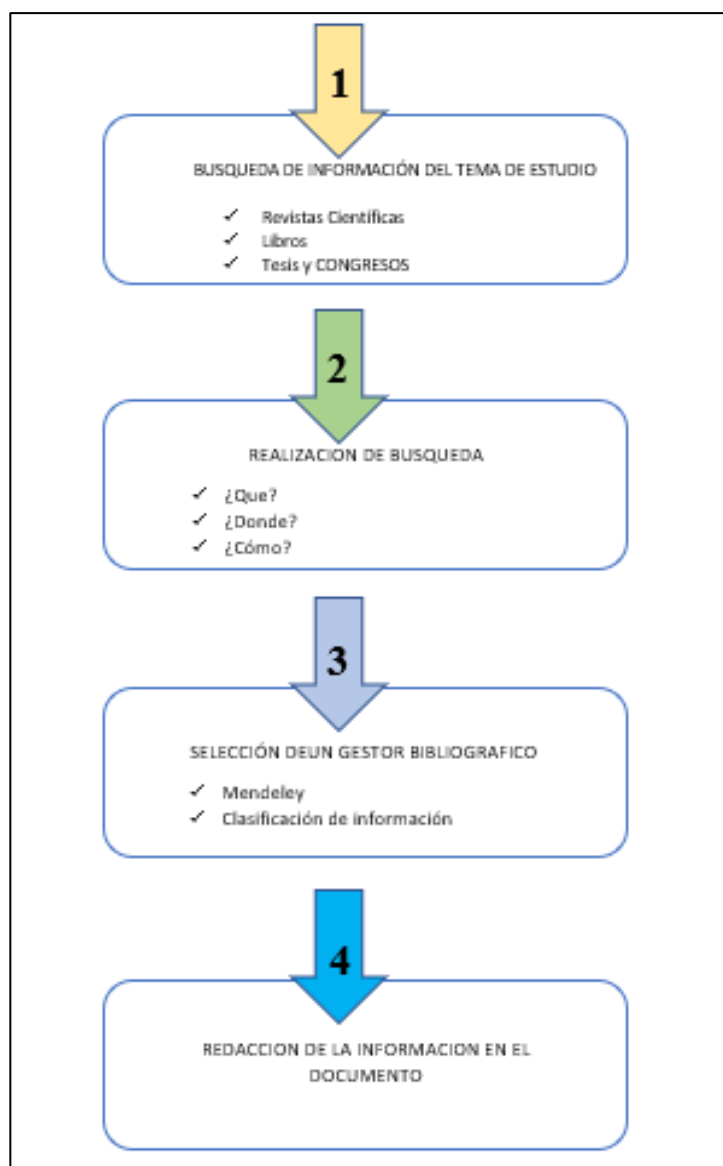


Ilustración 5-3: Proceso para la búsqueda de información

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.7.2. Implementación del generador de hidrógeno

En este apartado se detallará todo el proceso para la implementación del generador de hidrógeno de celdas húmedas previo a una revisión técnica del motor del vehículo Great Wall M4 2017 además de las diferentes herramientas y equipos que se utilizarán para el registro de datos en vivo con la ruta seleccionada.

Vehículo de prueba Great Wall M4 2017



Ilustración 6-3: Vehículo utilizado para la investigación Great Wall M4 2017

Fuente: (Creddivehiculos, 2018)

Es un vehículo de la categoría SUV se encuentra equipada con un motor de 1.5 litros de cilindrada con una potencia máxima de 106 HP su diseño moderno y único hace que sea uno de los vehículos para los conductores seguros y confortables entre otros de las prestaciones que presenta es los frenos ABS- EBD -BA que lo hacen como un vehículo deseado por los conductores y ocupantes (Creddivehiculos 2018).

3.7.2.1. Especificaciones técnicas del motor

Para tener información de mayor confiabilidad se deberá trabajar con la ficha técnica del vehículo en el cual se determine la información verídica de importancia ante de modificar el sistema de admisión en el múltiple para la adición de hidrógeno adicional como combustible.

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas del motor del vehículo Great Wall M4 2017

Especificaciones Técnicas M4 1.5	
Cilindrada (cc)	1,500
Motor	4 cilindros en línea, DOHC, Sistema VVT
Potencia (HP/RPM)	105/6000
Torque (NM/RPM)	138/4. 200
Norma de Emisión	Euro V
Tracción	4x2
Transmisión	Manual de 5 Velocidades
Dirección	Asistida Hidráulicamente
Suspensión Delantera	Independiente del tipo McPherson con barra estabilizadora
Suspensión Trasera	Barra de torsión del tipo combinado con barra estabilizadora
Frenos Delanteros y Traseros	Discos/Discos

Neumáticos	225/60 R16
Largo (mm)	3961
Ancho (mm)	1728
Alto	1617
Distancia entre ejes (mm)	2383
Peso Neto vehicular (kg)	1106
Capacidad de pasajeros	5
Capacidad de tanque de combustible (L)	45
Capacidad del maletero (L)	310
Rendimiento (ciudad/mixto/carretera) KM/L	11,7/15,7/19,6

Fuente: (Credivehiculos, 2018)

Según las especificaciones técnicas que tiene el vehículo se tiene un buen rendimiento en el consumo de combustible tanto en carretera como ciudad y mixto de 11,7,15,7 Kilómetros por cada litro de gasolina respectivamente. Además, el ser un vehículo moderno cuenta con sistema de recirculación de gases EGR y sistema EVAP sistemas que sirve para disminuir las emisiones contaminantes al ambiente.

Revisión técnica del motor

Para la revisión técnica del motor se debe verificar que el vehículo se encuentre en perfecto estado mecánico y electrónico sin que presente ningún tipo de inconveniente o averías presentes en alguno de los sistemas con ello se garantizara el correcto funcionamiento del motor durante las pruebas de ruta y en el banco dinamométrico. Por lo tanto, se deberá escanear el vehículo de forma que no presente ningún código de avería en algún sistema electrónico para lo cual es indispensable tener la ficha técnica y diagrama eléctrico en caso de presentar algún inconveniente.



Ilustración 7-3: Scanner Autel MaxiSys MS906

Fuente: (Amazon, 2022)

Se utilizó el equipo de la marca Autel MaxiSys MS906 el mismo que cuenta con varias opciones en el cual se verifica el correcto funcionamiento de todos los módulos, sensores y actuadores del vehículo

Identificación del sistema de admisión



Ilustración 8-3: Identificación de la admisión del motor

Realizado por: Guaman, J., 2023

Antes de la implementación del generador de hidrógeno se deberá identificar en que parte específica de la admisión del motor o sistema va a ser adicionada el hidrógeno como combustible adicional en la mezcla aire/combustible del motor.

3.7.2.2. Proceso para la implementación del generador de hidrógeno

Para la implementación del generador de hidrógeno se deberá tener en cuenta algunos aspectos de importancia que implican en si en el correcto funcionamiento del motor de forma que se pueda evitar inconvenientes en su funcionamiento.

Esquema eléctrico para la conexión del generador

Para la implementación del generador de hidrógeno de celda húmedas se debe tener en cuenta el funcionamiento y operación del sistema tanto la tención como la corriente de alimentación bajo la consideración del principio de la primera ley de Faraday en el cual afirma que “La acción química o el poder de descomposición, es exactamente proporcional a la cantidad de electricidad que circula por el sistema” por lo tanto representa mayor generación de hidrógeno del sistema por ello se consideró el voltaje de la batería tomado desde el relé principal como alimentación del sistema

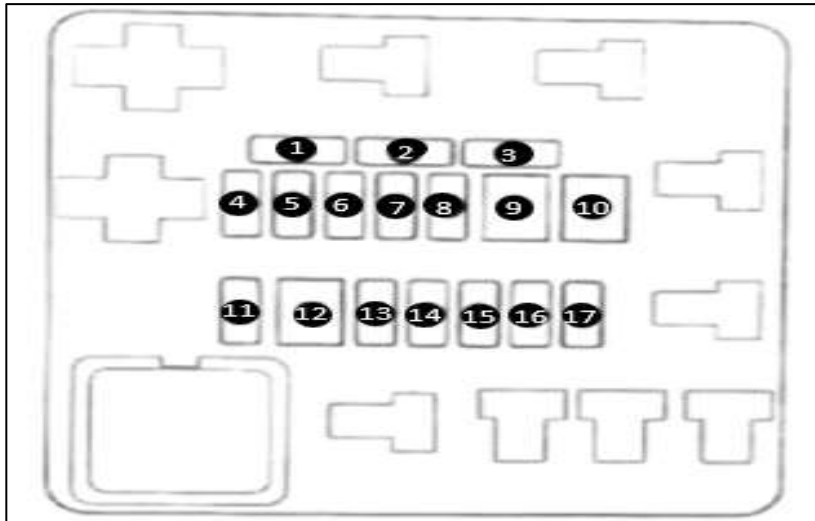


Ilustración 9-3: Ubicación de los elementos y componentes de la fusilera

Fuente: (FUSIBLE.info,2021)

En la ilustración 8-3 se puede identificar la distribución de los elementos de la fusilera del vehículo en el cual se deberá identificar la posición del relé principal para la alimentación del polo positiva al terminal 87 para la activación del generador de hidrógeno.

Tabla 5-3: Descripción Fusilera frontal Great Wall M4 2017

Numero	Amperaje	Circuito Electricio
1	10A	Reservado
2	15A	Reservado
3	25A	Reservado
4	15A	Bomba de aceite
5	15A	Bocina
6	25A	Frenos ABS
7	-	Reservado (MT)
	10A	TCU (SAMT)
		Luces de circulación diurna (6AMT)
8	-	Reservado
9	30A	Relé de baja del ventilador
10	40A	Relé de alta del ventilador
11	30A	Arrancador
12	-	Reservado
13	15A	AM2
14	25A	Relé principal
15	15A	Luz alta
16	15A	Luz baja
17	10A	Unidad de control del motor (ECU)

Fuente: (FUSIBLE.info,2021)

Mediante el diagrama eléctrico se identificó el relé principal para realizar la respectiva alimentación del sistema con la siguiente información bajo las especificaciones que se detalla en la tabla n en lo posterior se procederá a retira el relé principal ubicado en la numeracion14 de 25A

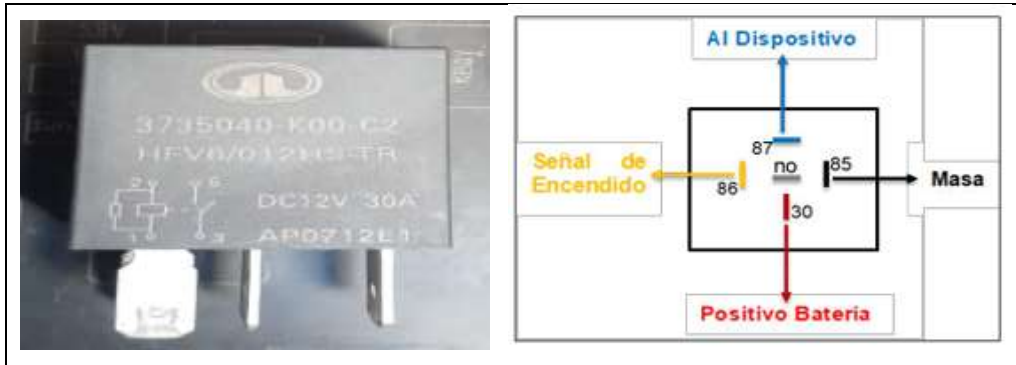


Ilustración 10-3: Relé principal Great Wall

Realizado por: Guaman, J., 2023

Para la instalación se deberá considerar la alimentación en el pin 87 del relé principal para la activación del sistema conjunto con la activación de la bomba de combustible evidenciado su activación en el display o pantalla del sistema en el cual se indica la carga actual del sistema de carga o batería.

Ubicación del generador en el motor



Ilustración 11-3: Ubicación del sistema de generación de hidrógeno

Realizado por: Guaman, J., 2023

Para la ubicación del generador de hidrógeno en el vehículo se consideró el espacio suficiente en el cual se debe tener presente factores que le puedan afectar como la temperatura del motor, calor, polvo, humedad, entre otros factores que incidan en inconvenientes. Por lo tanto, se le ubico junto al ventilador de alta ya que se disponía de mayor espacio en el compartimento del vehículo.

Entrada de hidrógeno en la admisión del motor



Ilustración 12-3: Ubicación de la admisión del vehículo

Realizado por: Guaman, J., 2023

Para la entrada de hidrógeno en el múltiple de admisión se modificó en la entrada del sistema EVAP sin alterar ni cortar ninguna cañería simplemente realizando la adaptación del sistema con una unión T en la entrada de la admisión de forma que no incida en la modificación de los parámetros de la salida de los vapores del tanque de combustible ya que la adición se encuentra al final de la entrada de forma que la alimentación es por vacío generado del motor de combustión interna.

Diagrama adaptación del sistema de generación de HHO

En la ilustración 13-3 se tiene el diagrama obtenido para la adaptación del sistema de generación de hidrogeno en el cual se puede identificar la adición del gas hidrogeno en el múltiple de admisión del vehículo en la salida del sistema EVAP de forma que su alteración no radica en la alteración de los parámetros de funcionamiento del motor.

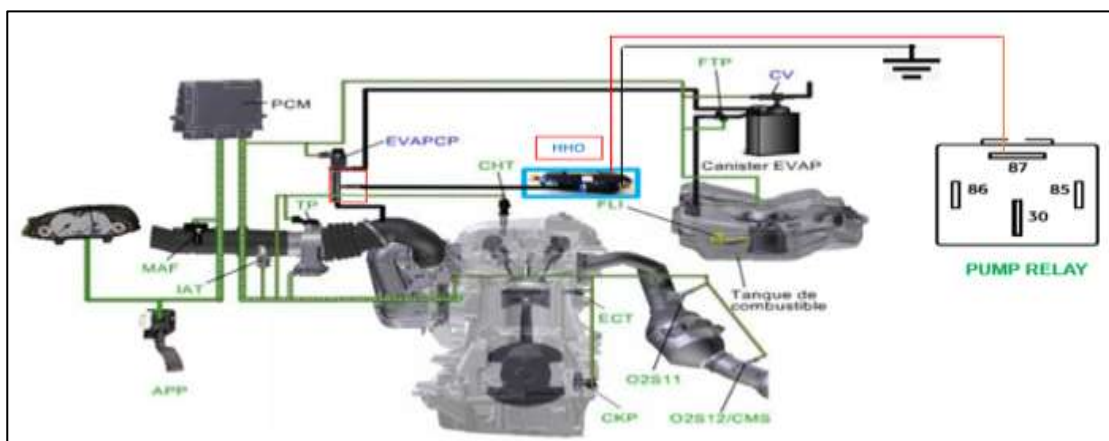


Ilustración 13-3: Diagrama adaptación del Sistema HHO Plasmafire

Realizado por: Guaman, J., 2023

Herramientas utilizadas para la instalación del sistema de generación de hidrógeno

Para la instalación del sistema de generación de hidrógeno se debe considerar las herramientas y accesorios adecuados para su correcta instalación también teniendo en cuenta la seguridad y protección ideal al manipular estos tipos sistemas.

Tabla 6-3: Herramientas y accesorias para la implementación HHO

HERRAMIENTAS	ACCESORIOS
<ul style="list-style-type: none">• Destornilladores• Alicates de corte• Caja de dados• Multímetro automotriz• Embudo	<ul style="list-style-type: none">• Abrazaderas metálicas• Abrazaderas plásticas• Electrolito• Balanza• Hidróxido de potasio• Conectores de cabeza redonda• Tornillos de acople

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.7.2.3. Instalación del sistema de generación del vehículo

En este presente apartado se detalla paso a paso para la instalación del generador de hidrógeno de celda húmeda previo a una revisión bibliográfica y consideraciones antes mencionadas con las herramientas y accesorios adecuadas. Sin embargo, se debe de identificar sus respectivas partes y la polaridad tanto de alimentación y GND del sistema de generación de hidrógeno.

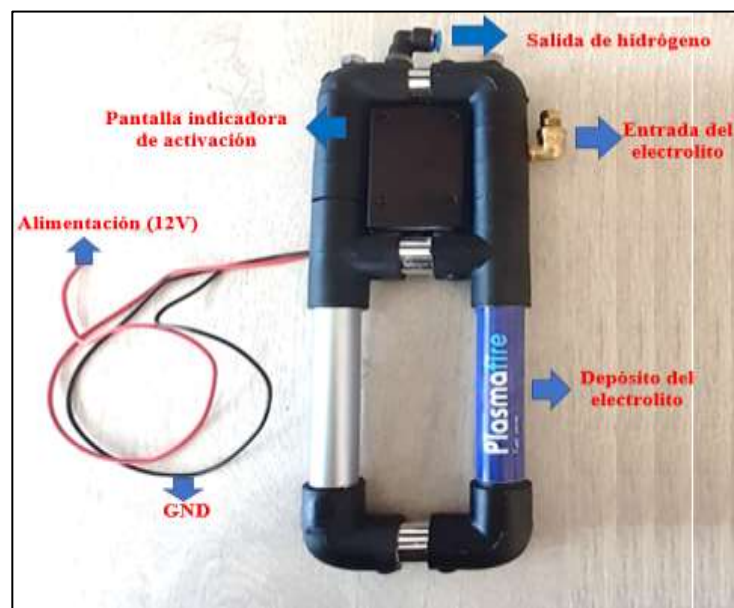


Ilustración 14-3: Vista de perfil del sistema Plasmafire

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se puede observar en la ilustración 14-3 se tienen la vista de perfil del sistema de generación en el cual se indica las respectivas partes en un diseño compacto como un solo cuerpo en el cual se puede identificar el depósito del sistema, entrada de electrolito, pantalla indicadora de activación, salida de hidrogeno al múltiple de admisión del motor de combustión interna y sus respectivas polaridades para la conexión eléctrica



Ilustración 15-3: Vista Superior del sistema Plasmafire

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 15-3 se tiene la vista Superior del sistema Plasmafire en el cual se enmarca la polaridad GND o negativo el mismo que ira conectada a una parte de la carrocería del vehículo para su funcionamiento

Especificaciones técnicas del Generador de Hidrógeno




Tabla 7-3: Especificaciones técnicas Plasmafire Fuel saver





Especificaciones técnicas	
Peso:	460 gr
Capacidad del reservorio:	105 mL
Rendimiento:	[100-120] km
Rendimiento Real:	90 km
Electrolito recomendado:	<ul style="list-style-type: none"> • Hidróxido de potasio [KOH] • Hidróxido de sodio [NaOH] • Agua Destilada o desionizada • En concentración del 25% de KOH o NaOH
Voltaje de alimentación:	12-14 V
Consumo de corriente promedio:	0,11 A
Caudal de generación:	0,62 lt/min
Tipo de vehículo:	Gasolina
	Diesel
Reducción de combustible	20% @ 40%



Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se indica las especificaciones técnicas del sistema de generación de hidrógeno de la marca Plasmafire es un sistema innovador que ofrece la disminución considerable del consumo de combustible de hasta un 40% para vehículos Diesel y gasolina de cilindrada de hasta 5,2 litros. Además, el aumento de potencia, reducción de gases contaminantes.

Tabla 8-3: Proceso para la implementación del generador de hidrógeno Plasmafire

PROCEDIMIENTO PARA SU INSTALACIÓN EN EL VEHÍCULO	
<p>1. Identificar la activación del sistema conectando respectivamente alimentación y GND a la batería del vehículo y comprobando la activación de la pantalla led indicando la tensión indicada de la batería antes de su respectiva instalación en el vehículo.</p>	
<p>2. Ajuste del sistema a la parte fija del electroventilador del vehículo previamente analizado como el lugar adecuado para su instalación con la ayuda de correas plásticas de amarre</p>	
<p>3. Empalmar la manguera plástica a la salida del generador verificando que este correctamente sujeta</p>	

<p>4. Alteración de la cañería de los gases EVAP para la adaptación de entrada de hidrógeno por la admisión del motor con la ayuda de un playo de cortes.</p>	
<p>5. Adaptación con adaptador tipo T a la cañería del sistema EVAP y asegurar con abrazaderas metálicas</p>	
<p>6. Ajuste del GND a una parte fija de la carrocería del vehículo utilizando el perno de sujeción y el conector de cabeza redonda al vehículo</p>	
<p>7. Conexión al terminal 87 del relé principal para su activación del sistema al encender el vehículo.</p>	

<p>8. Desajuste del perno de alimentación del electrolito con la ayuda de una copa 9 mm de 3/8 de pulgadas y Colocar el electrolito indicado Hidroxicar hasta que llegue a su capacidad total ajustar el tornillo de sujeción nuevamente.</p>	
<p>9. Finalmente procedemos a encender el vehículo y se verifica su activación en la pantalla digital de indicación de voltaje de batería</p>	

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.7.3. Ejecución de la fase de pruebas de torque, potencia y consumo realizada en el banco dinamométrico y pruebas de ruta para la determinación de factor de emisiones y consumo real de combustible

3.7.3.1. Consideración para las pruebas de ruta

En la presente sección se detalla las consideraciones para las pruebas dinámica en ruta en la ciudad de Riobamba, así como también el origen de partida para las pruebas, equipos utilizados, aplicación móvil para el registro de datos y tabulación de datos mediante aplicaciones.

Selección de ruta

para las pruebas en ruta se consideró algunos parámetros importantes que intervienen en el funcionamiento del motor y condiciones ideales para las pruebas que se detalla a continuación respectivamente bajo la consideración del punto de partida del taller electrónico automotriz CAR SOLUTION ubicada en la Avenida Atahualpa entre cuenca y Portoviejo



Ilustración 16-3: Ubicación Taller Automotriz Cars Solution

Fuente: (Google Maps, 2023)

Selección de Ruta en Carretera

Para la selección de Ruta Carretera se consideró el trayecto Riobamba Ambato en base a que es la ruta de mayor tráfico vehicular según los reportes del ministerio de obras públicas en un reporte de 8000 vehículos que transitan por este peaje con destino a la ciudad de Ambato.



Ilustración 17-3: Ruta en carretera Riobamaba – Ambato

Fuente: (Google Maps, 2023)

Selección de ruta ciudad en Riobamba

Para las pruebas de ruta dentro y fuera de la ciudad de Riobamba se basó en el estudio realizado de categorización de las principales avenidas y calles de la ciudad para vehículos livianos en el cual establece su mayor incidencia de flujo vehicular como se indica en la Tabla 9-3 (Roció, M. del, Salazar et al. 2020)

Tabla 9-3: Categorización vial para vehículos livianos dentro en la ciudad de Riobamba

Jerarquización Vial	No.	Nombre de calle	Nivel de Servicio			
		Sentido	N-S	S-N	E-O	O-E
Secundarias	1	Av. Atahualpa			x	X
	2	Av. 9 de octubre	x	X		
	3	Av. Edelberto Bonilla		X		
	4	Av. 11 de noviembre				X
	6	Av. Saint Amand Montront			x	X
	7	Madrid		X		
Colectoras	8	Ricardo Descalzi	x			
	9	Brasil				X
	10	Av. Monseñor Leónidas Proaño				X

Fuente: (Salas et al,2020)

Como se puede ver en la Tabla 9-3 se puede identificar las principales avenidas para los vehículos livianos de mayor flujo vehicular dentro de la ciudad de Riobamba para el cual se seleccionó la siguiente ruta como se puede observar en la ilustración 18-3 que tiene una duración aproximada de una hora y una distancia aproximada de 22km recorrido hasta el lugar de origen.

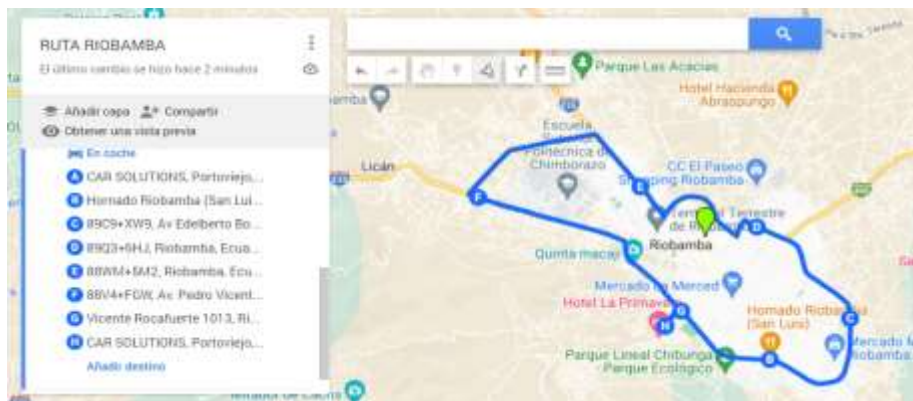


Ilustración 18-3: Ruta ciudad dentro de la ciudad de Riobamba

Fuente: (Google Maps, 2023)

Como se muestra en la Ilustración se evidencia el recorrido de la ciudad de Riobamba por las principales avenidas que se detalla en la Tabla 9-3 con el cual se puede verificar que se puede abordar la ciudad teniendo el origen de partida el taller automotriz CAR SOLUTION.

Selección de Ruta en ciudad- carretera

Para la prueba en ruta de la combinación en ciudad carretera se optó por realizar el trayecto Riobamba - Guano un cantón aledaño a la ciudad de Riobamba se seleccionó esta ruta debida que se consideró ya que para el destino se debe transitar por el centro de la ciudad y la combinación con la ruta en carretera



Ilustración 19-3: Ruta Ciudad Carretera Riobamba - Guano

Fuente: (Google Maps, 2023)

Estación de servicio para las pruebas de ruta

Como punto de partida para el estudio y registro de datos se consideró el Taller Automotriz CAR SOLUTION seguidamente se consideró el recorrido de datos en vivo tanto de los parámetros del motor como de emisiones de gases. Además, bajo la consideración de la selección de la estación de servicio de la parroquia urbana Yaruquies para el cálculo o estimación del consumo real de combustible por diferencia de consumo o llenado a su máxima capacidad.



Ilustración 20-3: Origen de partida para las pruebas de ruta

Realizado por: Guaman, J., 2023

Instrumentos utilizados para la recolección de datos

La importancia de registrar de una forma adecuada es conociendo las especificaciones técnicas del equipo, grado de confiabilidad, precisión del equipo, configuración entre otras características de importancia para una correcta adquisición de datos.



Ilustración 21-3: Conector Interfaz OBDII ELM327

Fuente: (Todomicro,2020)

Es un dispositivo que facilita la comunicación con la ECM (Engine Control Module) del vehículo compatible con dispositivos Android, iPhone /PC la misma que se puede monitorear a través de una aplicación móvil en el celular compatible para vehículos Diesel y gasolina (12v/16 pines)

Entre una de sus funciones más aplicadas se encuentra es las lecturas de códigos de error DTC (Diagnostic Trouble Codes) lo que permite con facilidad identificar y borrar los códigos generados o especificados por el fabricante

Muestra datos de sensores en tiempo real de acuerdo con las condiciones de régimen del motor, Temperaturas de funcionamiento, Ajustes de combustibles, Velocidad del vehículo, Posición del pedal del acelerador entre otros parámetros importantes a analizar.

Tabla 10-3: Vehículos compatibles con el conector ELM 327

VEHÍCULOS COMPATIBLES	✓ Americanos
	✓ Europeos
	✓ Japoneses
	✓ Asiáticos
	✓ Coreanos

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se indica en la tabla 9-3 se indica la compatibilidad con la mayoría de los vehículos fabricantes de vehículos presentes en el Ecuador razón por el cual se convierte en un equipo eficaz a la hora de registrar datos y su compatibilidad.

Software OBD FUSION

OBD FUSION es una aplicación para iPhone, iPad, iPod Touch y Android que permite leer datos de diagnósticos del vehículo y la facilidad de tener múltiples paneles de observación de datos de sensores, actuadores, estimar el ahorro de combustible, leer códigos, entre otros, etc. (OC OC Tech OBD Software 2020). Además, esta aplicación tiene la opción de extraer la información registrada a través de un archivo csv y txt fácilmente editable para fines prácticos.



Ilustración 22-3: Icono de la aplicación OBD FUSION

Fuente: (OBD Software, 2020)

Es posible crear diseños de tablero propio con la aplicación de OBD FUSION seleccionando los PID deseados. Además, se puede utilizar las plantillas integradas para cambiar rápidamente de estilo. Mapas muestra su ruta en un mapa en vivo. Puede seleccionar un parámetro como la velocidad del vehículo o la economía de combustible y mostrar una ruta codificada por colores según el valor de ese parámetro.

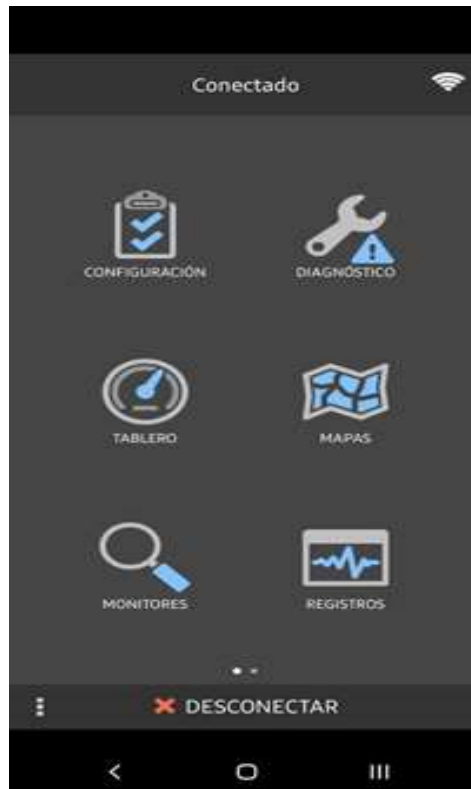


Ilustración 23-3: Menú OBD FUSION

Realizado por: Guaman, J., 2023

Compatibilidad

OBD FUSION es compatible para todos los modelos desde el año 1996 y los automóviles livianos y camiones ligeros nuevos vendidos en los estados unidos incluidos todos los vehículos estadounidenses, europeos y asiáticos. Por ende, hace su compatibilidad con la interfaz de ELM327 de forma genérica ya sea mediante Bluetooth, red wifia y mediante conexión por cable usb en la PC. Una de las mayores ventajas de esta aplicación es la facilidad de exportación de archivos en formato csv, txt en el cual se tiene el registro de datos segundo a segundo mediante la configuración de los PID que se desea monitorear.



Ilustración 24-3: Capturas de pantalla OBD FUSION

Realizado por: Guaman, J., 2023

Una de las mayores ventajas de esta aplicación es la facilidad de exportación de archivos en formato csv, txt en el cual se tiene el registro de datos segundo a segundo mediante la configuración de los PID que se desea monitorear.

Analizador de Gases MAHA MET 6.3



Ilustración 25-3: Analizador de Gases MET 6.3

Fuente: (MAHA ES, 2022)

Es un equipo de tecnología moderna en mediciones de emisiones contaminantes en vehículos a gasolina y Diesel. Además de mostrar de forma simultánea los índices en porcentajes de las concentraciones de los gases como CO, CO₂, HC, O₂, NO_x, NO, Y NO₂ y partículas por millón su peso reducido y de fácil manipulación lo hace un equipo eficaz.

El analizador de gases MAHA MET 6.3 presenta las siguientes características:

Tabla 11-3: Características del Analizador de gases MAHA MET 6.3

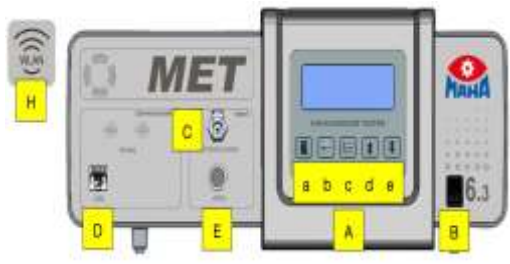



Características MAHA MET 6.3	Corto tiempo de calentamiento
	Sonda común para vehículo Diesel y gasolina
	Precisión en los resultados (O ₂ , CO, CO ₂ , HC Y Lambda)
	Visualización múltiple
	Medición adicional de NO _x
	Interfaz W-LAN

Realizado por: Guaman, J., 2023

Conexión básica del equipo MAHA MET 6.3

Como se muestra en la tala 12-3 se indica las partes del analizador de gases en el caso del estudio que se realizará únicamente se utilizará la conexión del puerto W-LAN y la conexión de la sonda lambda al escape del vehículo para su funcionamiento y activación del equipo el vehículo deberá llevar instalado un inversor de 12v a 110v durante la prueba de ruta y registro de datos.

Tabla 12-3: Indicadores y partes del analizador de gases MAHA MET 6.3

Partes del analizador de gases MAHA MET 6.3		
	<p>A: Display e indicadores del funcionamiento B: Botón de encendido C: Puerto para la entrada de la sonda D: W-LAN para conexión para la PC E: conexión para sonda de temperatura de aceite H: indicador de conexión W-LAN I: conexión de alimentación del equipo</p>	
		

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la tabla 13-3 se indica las especificaciones técnicas de las concentraciones y rangos de medición de las emisiones contaminantes del equipo MAHA MET 6.3 su importancia radica en la homologación del equipo lo que hace su precisión en las mediciones hace que sea utilizado por los centros de revisión vehicular.

Tabla 13-3: Especificaciones técnicas del analizador de gases MAHA MET 6.3

MET 6.1 / 6.3						
Gases mesurables	% CO	% CO ₂	HC (ppm)	% O ₂	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)
Rangos de medición	0 – 15,0	0 – 20,0	0 – 2000 ppm Vol. (hexano) 0 – 30000 ppm Vol. (propano)	0 – 25,0 Vol. %	0 – 1000 ppm Vol.	0 – 500 ppm Vol.
Resolución de valores de medición (máx.)	0,01 vol. %	0,01 vol. %	1 ppm Vol.	0,01 vol. %	1 ppm Vol.	
Principio de medición	infrarrojos	Infrarrojos	infrarrojos	electroquímica.	electroquímica.	
Valor lambda	Rango de indicación: 0 – 9,999 / resolución: 0,001 / calculado según Bretttschneider					
Fase de calentamiento	aprox. 2 min.					
Prueba de estanqueidad	guiada por menú / 1 vez al día					
Prueba de residuos de HC/ajuste a cero	Automático					
Calibración	anual/guiada por PC / se requiere un gas de calibración especial (específico del país)					
Homologación	PTB según MID conforme a la directiva 2004/22/CE					
Clase de precisión	PTB: Clase 1 / OIML: Clase 0					
MET 6.2 / 6.3						
Intervalo de medición opacidad	0 – 99 %					
Intervalo de medición Valor K	0 – 9,99 m ⁻¹					
Concentración de masa de partículas	0 – 1100 mg/m					
Procedimiento de medición	Opacímetro					
Longitud de la cámara de medición	287 mm					

Fuente: (MAHA,2022)

Balanza Digital

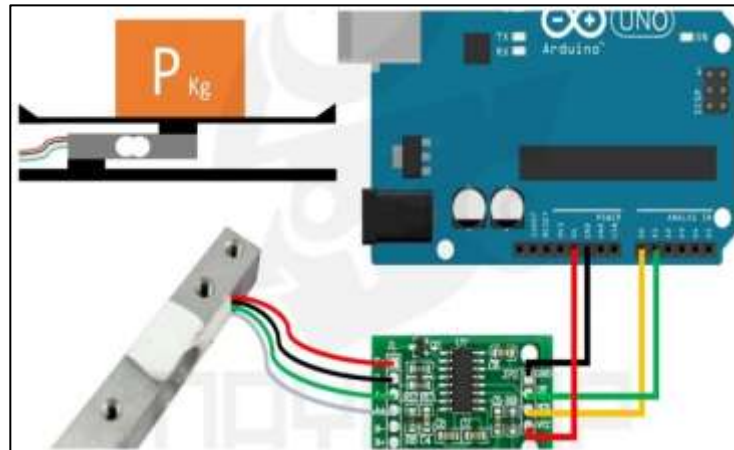


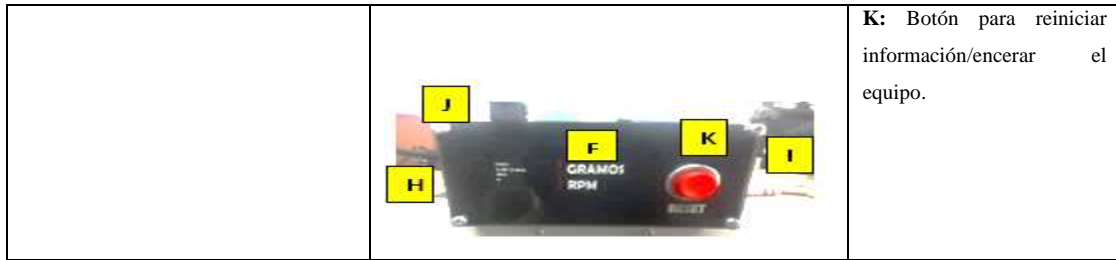
Ilustración 26-3: Transmisor de celda de Carga HX711

Fuente: (Mechatronics, 2017)

Es un equipo que sirve para medir el consumo de combustible en masa mediante una interfaz entre las celdas de carga y el microcontrolador tiene como principio medir la variación de masa presente consumido durante lapsos de tiempos. Por lo tanto, su utilización mientras el vehículo se encuentre en funcionamiento en base en el registro de 2 parámetros: peso del combustible en gramos y la señal del sensor CKP que lo traduce en velocidad de giro del cigüeñal (RPM) información que es utilizada por el equipo para el registro segundo a segundo. Además, el equipo ofrece la facilidad de exportar el registro obtenido en un archivo de texto txt. de fácil exportación mediante una tarjeta microSD.

Tabla 14-3: Partes de la balanza digital

Partes y componentes de la Balanza de combustible		
	<p>A: Probeta de 2000 MI</p> <p>B: Tapa de la probeta en Impresión 3d con agujeros de salida para alimentación para la bomba y cañerías de alimentación y retorno</p> <p>C: Bomba externa de 3,5 bares con su respectivo microfiltro y cables de conexión</p> <p>D: Mangos con agujeros para cañerías de combustible tanto de alimentación como de retorno de ¼</p> <p>E: Base de apoyo de la probeta de medición</p> <p>F: Modulo de control y display del equipo</p> <p>G: Celda de carga 10 Kg</p>	
	<p>H: Entrada de Alimentación del equipo</p> <p>J: Botón de iniciar el registro de datos</p>	



Realizado por: Guaman, J., 2023

Banco dinamométrico DYNOCOM

En la Tabla 15-3 se detalla las especificaciones técnicas del banco dinamométrico utilizado para las pruebas de torque, potencia del vehículo

Tabla 15-3: Especificaciones DYNOCOM INC AWD 5000

Características del Dinamómetro del Taller Mundo Tuerca	
	
Tipo de Dinamómetro	Dinamómetro de inercia
Marca	DYNOCOM INC
Modelo:	AWD 5000 GDFX
Capacidad	2250 hp
Calculo	Potencia Motor Torque Motor Potencia Rueda Torque a Rueda

Fuente: (DYNOCOM INC, 2023)

Consumo en el banco dinamométrico

Para la estimación del consumo de combustible en el banco dinamométrico como se detalló en la sección anterior se utilizó la balanza de combustible el mismo que brinda la facilidad de exportar los datos en un archivo del tipo txt el mismo que se procedió a tabular estos datos verificando la masa de inicio y finales de cada pasada en el banco dinamométrico

Los datos obtenidos fueron los gramos de combustible y las revoluciones por minuto del motor (rpm) para lo cual se consideró el valor de la densidad de la gasolina extra de $735,8 \text{ kg/m}^3$ valor considerado en una investigación similar realizada en la ciudad de Riobamba (Montufar-Paz et al. 2021)

Con los valores y datos obtenidos se procedió a realizar una ecuación polinómica que predijera la masa en función de las revoluciones por minuto del motor obtenidos en el banco dinamométrico y su masa de combustible.

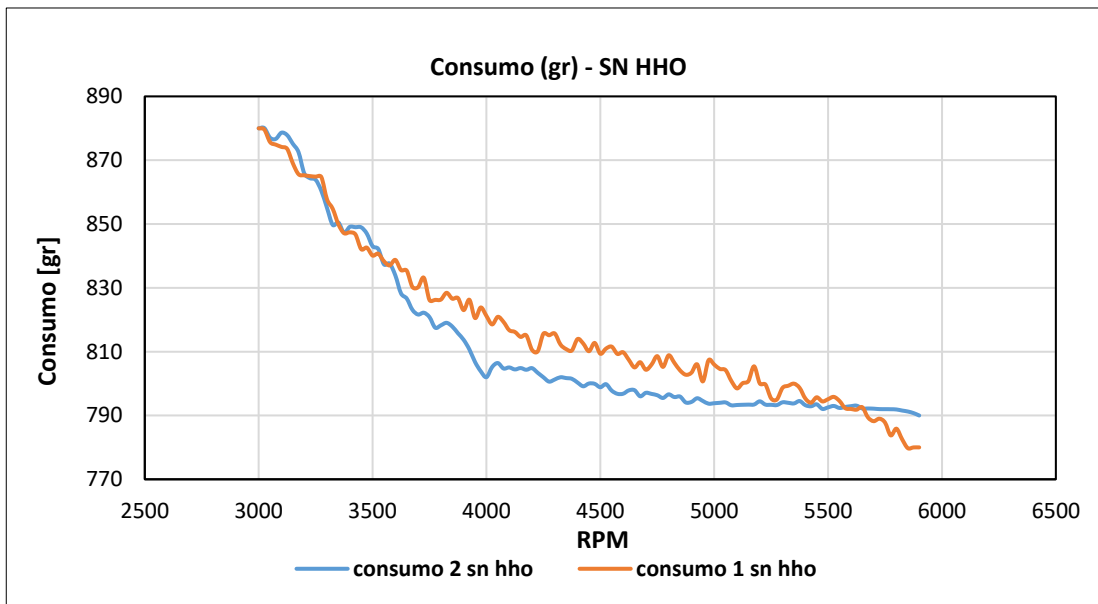


Ilustración 27-3: Pruebas del consumo de combustible sin el generador de hidrógeno

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se puede observar en Ilustración 27-3 se tiene el consumo de las 2 pruebas realizadas en el banco dinamométrico con el vehículo convencional en el cual se evidencia que el combustible que en la prueba 1 se tiene un consumo los 100 gramos y los 90 gramos respectivamente

Una vez obtenido los valores de las 2 pruebas se realizó la ecuación que define el consumo en gramos definido como el valor promedio.

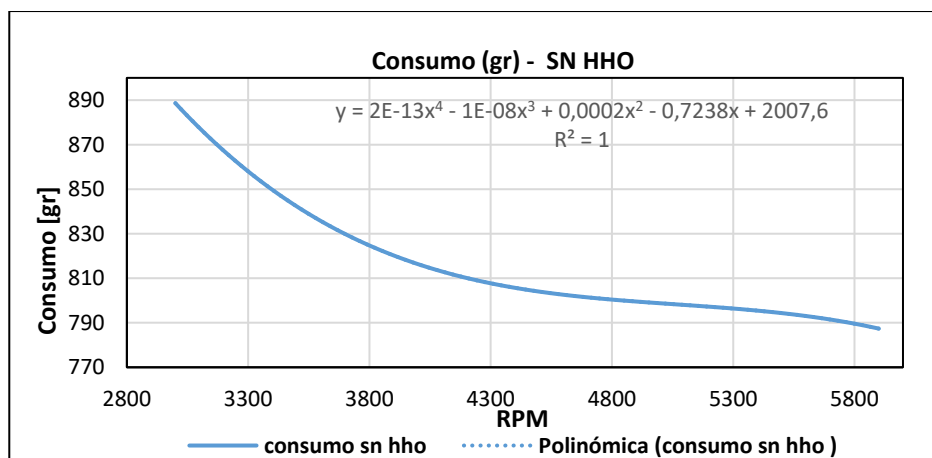


Ilustración 28-3: Ecuación que describe el consumo de combustible (sn hho)

Realizado por: Guaman, J., 2023

Mediante la utilización del software de Excel se tiene la representación de la ecuación del consumo de combustible de grado polinómica que describe el consumo de combustible en función de las revoluciones por minuto.

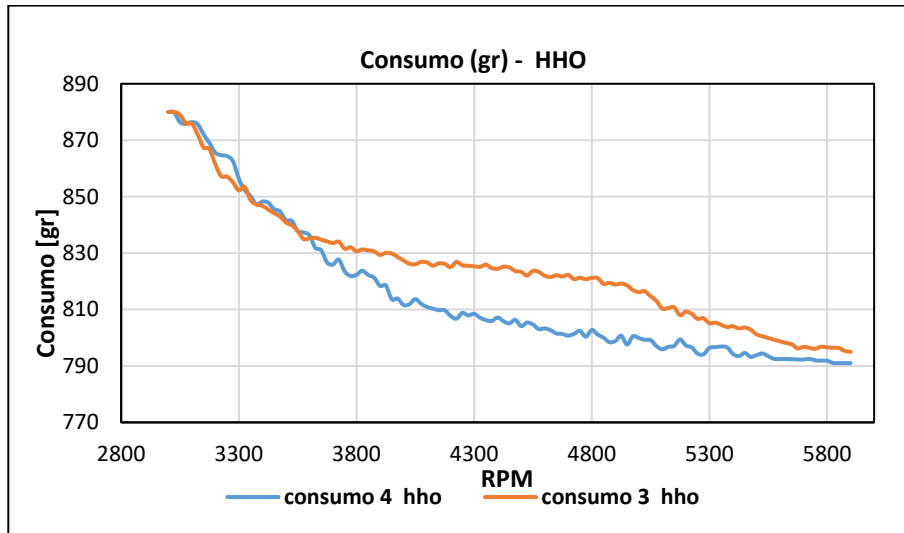


Ilustración 29-3: Pruebas del consumo con el generador de hidrógeno

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 29-3 se tiene el consumo de combustible e las 2 pasadas en el banco dinamométrico con el generador de hidrogeno en el cual se puede evidenciar el comportamiento en consumo en el cual se tiene un valor de consumo en la prueba 3 y 4 de 85 y 89 gramos respectivamente teniendo un comportamiento diferente entre pruebas.

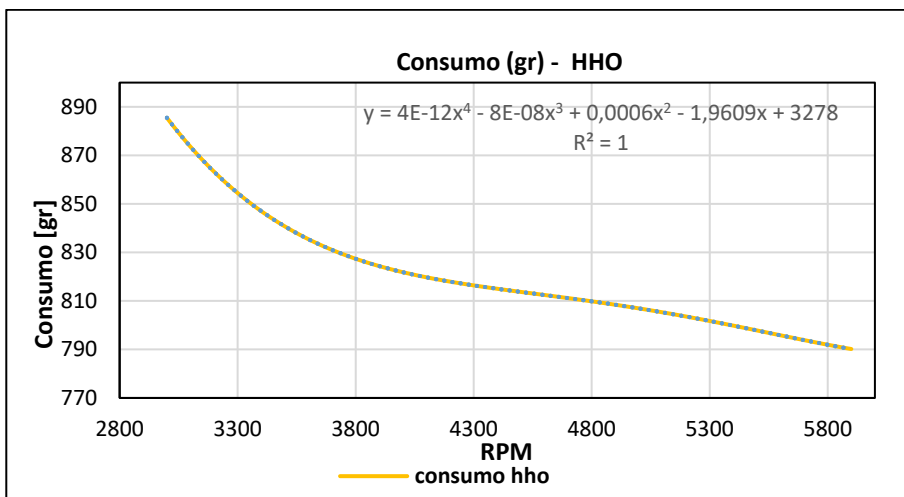


Ilustración 30-3: Ecuación que describe el consumo hho

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se puede observar la ilustración 30-3 se tiene la representación del consumo de combustible implementado el generador de hidrogeno mediante la utilización de una ecuación polinómica de grado 4 en el cual se puede predecir los gramos de consumo en función de las revoluciones por minuto.

Cálculos realizados para representación del consumo especifico

Para representación del consumo especifico se consideró algunas de las ecuaciones para la conversión de consumo en gramos (*gr*) a consumo en (*gr/KWh*) para lo cual se tomó en cuenta los valores del torque en cada régimen motor a partir de la siguiente conversión del Torque en *N.m*.

$$\frac{N.m}{1} = \frac{1KJ}{1000N.m} \times \frac{0,000278 KWh}{1KJ}$$

$$1 N.m = 2,77 \times 10^{-7} KWh$$

Para la conversión final del consumo de combustible especifico se dividió los gramos de combustible para el torque en *Kwh* teniendo los valores en *gr/KWh*.

Factor de corrección por Altura (*Ka*)

Las prestaciones de un motor de combustión pueden variar en función de las condiciones ambientales del lugar donde se realiza la prueba parámetros como la presión atmosférica y la temperatura ambiental influyen en el rendimiento volumétrico. Sin embargo, se establece os datos de prueba realizada para diferentes lugares geográficos. (Palomo y Pilataxi, 2012)

A condiciones normales atmosféricas la temperatura y presión son:

$$T = 293 K (20 \text{ } ^\circ C)$$

$$P_a = 760 \text{ mm Hg (milimitros de mercurio)}$$

Siempre que estas condiciones varíen es necesario calcular el factor de corrección mediante la siguiente expresión:

$$K_a = \frac{760}{P_a} \cdot \left(\frac{T_a}{293} \right)^{0.5}$$

Donde:

P_a: Presión Atmosférica 540 [*mm Hg*]

T_a: Temperatura ambiente media considerado 17,22 °C [*K*]

$$K_a = \frac{760}{540} \cdot \left(\frac{290}{293} \right)^{0.5}$$

$$K_a = 1,4$$

El factor de corrección por altura realizada la prueba en el banco dinamométrico en la ciudad de Riobamba a una altura alrededor de los 2700 m.s.n.m es de 1,4 razón por el cual resulta indispensable corregir los valores obtenidos mediante las siguientes expresiones.

Tabla 16-3: Corrección de las prestaciones del motor

Torque	Potencia	Consumo
$T = T_b * K_a$	$W = W_b * K_a$	$C_e = C_{eB}/K_a$

3.7.3.2. Fase de Pruebas en el banco dinamométrico

En la presente sección se detalla el procedimiento que se siguió para las pruebas en el banco dinamométrico en el cual se realizaron las 2 pruebas con el vehículo convencional y con el sistema de generación de hidrogeno También, la estimación de la curva característica del consumo de combustible mediante la utilización de la Balanza. Además de la consideración bajo la normativa SAE J1321 o SAE J1349 que se empleó para la utilización del banco dinamométrico para la obtención de la curva de torque, potencia con el vehículo convencional y con el vehículo implementado el generador de hidrógeno.

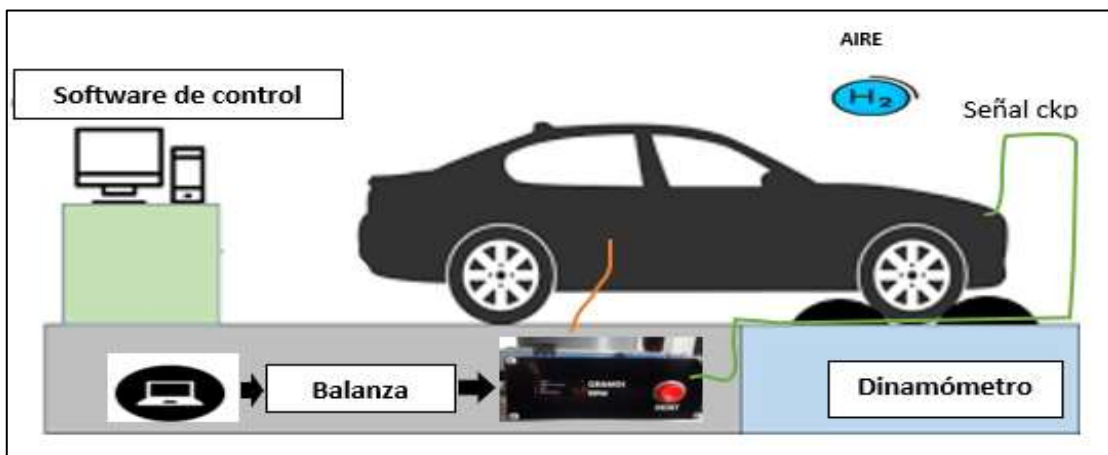


Ilustración 31-3: Equipos utilizados para las curvas de torque, potencia y consumo

Realizado por: Guaman, J., 2023

Las pruebas en el banco dinamométrico se lo llevo a cabo en la ciudad de Riobamba en el Taller Mundo Tuerca ubicada en la carrera Panamericana entre las calles Mariano castillo y Manuel Alban



Ilustración 32-3: Ubicación del Taller Mundo Tuerca 2

Fuente: (Google Maps, 2023)

Fijación del vehículo en el Banco Dinamométrico

Para la realización de las pruebas de torque potencia del motor fue necesario la Asistencia Técnica y profesional del Ing. Álvaro Condo gerente general del taller automotriz Mundo Tuerca 2 que lleva tiempo en la utilización y la realización de pruebas con estos equipos en vehículos de competencia. Además, fue necesario los datos técnicos del vehículo.



Ilustración 33-3: Fijación del vehículo prueba en el Banco Dinamométrico

Realizado por: Guaman, J., 2023

Por seguridad es indispensable el aseguramiento del vehículo con cuerdas de sujeción tanto por la parte delantera como por la parte trasera del vehículo para garantizar de esta forma que el vehículo se mantenga estático durante las respectivas pruebas como se indica en la ilustración 37-3 para las respectivas pruebas.

Instalación de la balanza de combustible en el vehículo de prueba

Este equipo fue utilizado como instrumento adicional para la estimación del consumo de combustible específico del vehículo para lo cual fue necesario la suspensión de las cañerías tanto de salida como de retorno de combustible y las alimentaciones para la bomba externa de combustible. Además, de la utilización de la señal y GND del sensor ckp utilizada para la prueba para lo cual fue necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones que se detalla en la tabla.



Ilustración 34-3: Balanza de combustible implementada en el vehículo

Realizado por: Guaman, J., 2023

Previo a las pruebas en el banco dinamométrico fue necesario dejar extraído los cables adicionales de las señales del sensor (CKP) bien aislados para evitar inconvenientes en el funcionamiento del motor.

Tabla 17-3: Consideraciones para la utilización de la balanza en el Banco Dinamométrico

Consideraciones para la utilización de la balanza en el Banco dinamométrico	
	

1. Presurizar el sistema antes de iniciar la medición y encender el vehículo hasta que se regule un ralentí estable y apagarlo
2. Encender y calibrar la balanza encerando con todo la probeta y el conjunto bomba, cañerías e iniciar el registro de datos
3. Colocar el combustible y verificar su peso inicial en gramos en el display
4. Encender el vehículo y verificar la masa en gramos del combustible y las revoluciones por minuto(rpm) del motor tener como referencia para cada pasada los 880 gr de capacidad máxima de la probeta de 2000 mL
5. En el instante de iniciar la prueba tener en cuenta las masas iniciales y finales por referencia anotarlos para su verificación en el reporte
6. Una vez terminada la pasada del banco dinamométrico dar finalizada la grabación
7. Apagar la balanza
8. Extraer la memoria microSD
9. Extraer el archivo txt y guardarlo en la PC y finalmente antes de extraerla se deberá borrar todos los reportes para la próxima medición

Nota: Se deberá verificar ante de cada prueba la cantidad de combustible en gramos como referencia utilizar los 880 gramos para cada medición y repetir el proceso para cada prueba como se detalla en esta tabla

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.7.3.3. Fase de pruebas en ruta

Para las pruebas de ruta se consideró la utilización de 2 equipos para el registro de datos como son el conector o interfaz de OBD II y el analizador de gases MAHA MET 6,3 en el cual los instrumentos toman datos respectivamente para el análisis de los parámetros de motor y las concentraciones de emisiones por el tubo de escape en ruta tanto en ciudad, carretera y ciudad. Carretera.



Ilustración 35-3: Equipos utilizados para la fase de pruebas en ruta

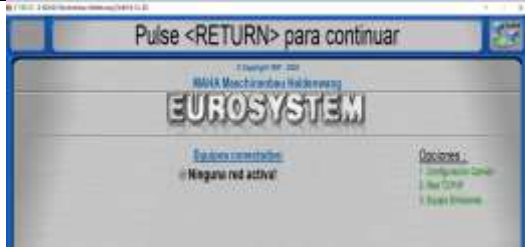

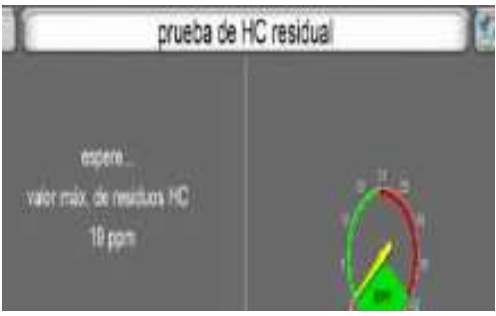

Realizado por: Guaman, J., 2023

En las mediciones con el analizador de gases se consideró la lectura de los siguientes parámetros: NO_x(ppm), HC(PPM), CO₂ (%), CO (%), O (%) y el valor de lambda que permitan determinar las concentraciones segundo a segundo.

Procedimiento medición MAHA MET 6.3

Con el analizador de gases ya implementado en el vehículo de prueba es necesario realizar un calentamiento previo hasta que el motor y el equipo alcance la temperatura de operación como un tiempo aproximado se le puede considerar alrededor de los 3 minutos para lo cual se deberá seguir el siguiente procedimiento

Tabla 18-3: Procedimiento medición MAHA MET 6.3

	<p>Abrir la aplicación de Eurosystem para vincular el dispositivo pc y analizador con la aplicación MES MAHA.</p>
	<p>Abrir la aplicación MES MAHA e iniciar la prueba de hermeticidad y cerra la sonda para pasar la prueba de vacío.</p>
	<p>Desconectar la sonda para para pasar la prueba de los hidrocarburos (HC)</p>
	<p>Medición final de las emisiones contaminantes a ralentí antes de iniciar la ruta</p>

Realizado por: Guaman, J., 2023

3.7.3.4. Técnicas de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos obtenido en las rutas y las pruebas realizadas en el banco dinamométrico consideradas como estáticas y pruebas de rutas o dinámicas se utilizaron los siguientes softwares para la tabulación de datos para la investigación y el análisis estadístico.

Microsoft Excel

Es una aplicación de calculo que permite el procesamiento de los datos ya sean numéricos o alfanuméricos. Además, permite la representación de datos gráficamente gracias a sus múltiples herramientas estadísticas que permite el procesamiento y realizar el trabajo de una más eficiente (Microsoft,2021).

Minitab

Es una aplicación para fines estadísticos en el cual permite realizar comprobaciones y correlaciones entre variables. Su compatibilidad con Microsoft Excel ayuda a relacionar y analizar datos conjuntamente y representarlos gráficamente (MINITAB,2021).

Tableau

Es una herramienta de análisis empresarial diseñado para las empresas ideales para su negocio que permite el análisis y el almacenamiento en compartir la información en la nube. Sin embargo, la aplicación de escritorio ofrece múltiples herramientas que facilita la visualización de los datos de diferentes variables. (Tableau,2020).

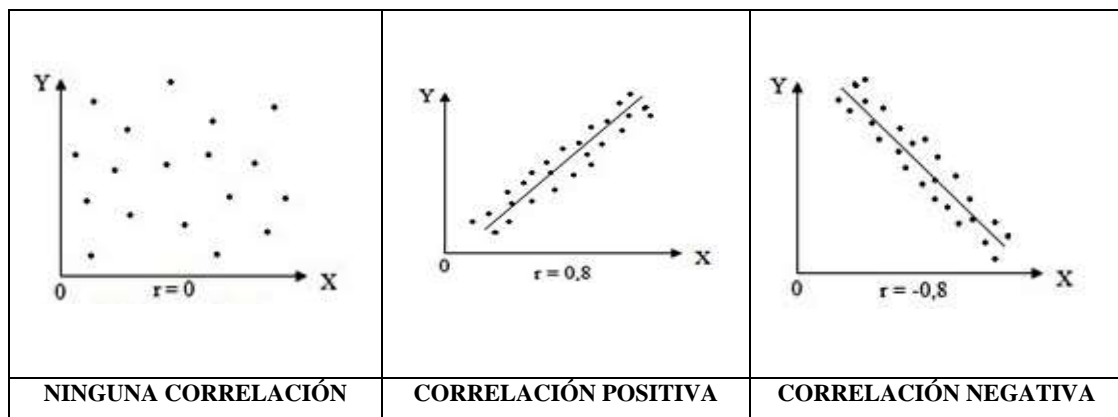
Coefficiente de correlación lineal de Pearson

Es un coeficiente para el análisis de variables cuantitativas de forma que mide el grado de variación entre distintas variables relacionadas linealmente. Además, su coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e igualmente de fácil interpretación como rangos limites oscila entre 0 y 1 en el caso de tener 2 variables X e Y (Coeficiente de correlación de Karl Pearson, 2020)

$$0 \leq p \leq 1$$

En la tabla 16-3 se tiene las tendencias de las correlaciones de Pearson en el cual se va a tener de acuerdo con el comportamiento de los datos.

Tabla 19-3: Tendencias del coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: (Estadística en investigación,2020)

Obtención de los coeficientes de correlación

En este apartado se detallará el procedimiento para la correlación de los 2 bases de datos como es el caso de las emisiones y los parámetros de funcionamiento del motor para lo cual es importante definir los parámetros importantes a analizar y utilizar para el cálculo de los factores de emisiones.

Tabla 20-3: Datos útiles exportados de OBD FUSIÓN

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Numero de Datos	Vehicle speed (km/h)	velocidad del vehiculo (m/s)	Kilometers Per Litre(Instant)(kpl)	Fuel flow rate/hour(gall/hr)	Intake manifold absolute pressure (Psi)	Intake manifold absolute pressure (kpa)	Engine RPM (RPM)	Intake air temperature (C)	Absolute throttle position (%)	Engine coolant temperature (C)
7,00	0,00	0,00	0,20	0,20	3,48	23,39	802,75	48,00	14,12	78,00
8,00	0,00	0,00	0,10	0,10	3,48	23,39	802,75	48,00	14,12	78,00
9,00	0,00	0,00	0,20	0,10	3,48	23,39	802,75	48,00	14,12	78,00
10,00	3,00	0,83	16,63	0,31	8,41	57,38	821,00	48,00	17,26	78,00
11,00	3,00	0,83	16,63	0,31	8,41	57,38	821,00	48,00	17,26	78,00
12,00	3,00	0,83	16,63	0,31	8,41	57,38	821,00	48,00	17,26	78,00
13,00	3,00	0,83	16,63	0,31	8,41	57,38	821,00	48,00	17,26	78,00
14,00	3,00	0,83	16,73	0,21	8,41	57,38	821,00	48,00	17,26	78,00
15,00	10,00	2,78	18,18	0,52	3,63	25,03	373,25	47,00	14,30	78,00
16,00	10,00	2,78	18,28	0,32	3,63	25,03	373,25	47,00	14,30	78,00
17,00	10,00	2,78	18,28	0,32	3,63	25,03	373,25	47,00	14,30	78,00
18,00	2,00	0,56	14,26	0,36	3,92	27,03	831,25	47,00	14,12	78,00

Realizado por: Guaman, J., 2023

Los datos más importantes que se utilizó en la correlación y en los cálculos los datos a utilizar son: velocidad del vehículo(m/s); Kilometro por litro, Flujo de combustible, RPM del motor, IAT(Kpa), ECT(°C), TPS (%), entrada de la temperatura en el múltiple(°C), tiempo de avance del cilindro I (grados sexagesimales).

El analizador de gases tiene la opción de exportar los datos en vivo de las emisiones de las rutas en formato csv en el cual se debe verificar el registro de los siguientes valores el registro de la hora o tiempo de inicio, concentraciones en % (CO, CO2, O2) y de material particulado como (HC, NOx). Además, se debe incluir el registro de los valores de la Lambda.

Ya obtenido los datos útiles a utilizar de los 2 equipos se debe generar un solo archivo de Excel para exportarlos desde Minitab en el cual se utilizará la herramienta de estadísticas y utilizar la correlación de Pearson e identificar entre cuál de los parámetros tienen una mejor correlación

	de Datos	(km/h)	(m/s)	Litre(Instant)(k	Altitud (m)
Vehicle speed (km/h)	0,087				
velocidad del vehiculo (m/s)	0,087	1,000			
Kilometers Per Litre(Instant)(k	0,093	0,446	0,446		
Altitud (m)	0,068	0,527	0,527	0,125	
Fuel flow rate/hour(gal/hr)	0,098	0,704	0,704	0,355	0,330
Mass air flow rate (g/s)	0,029	0,663	0,663	0,304	0,346
Intake manifold absolute press	0,021	0,310	0,310	0,169	0,139
Intake manifold absolute pres_1	0,021	0,310	0,310	0,169	0,138
Engine RPM (RPM)	0,074	0,896	0,896	0,456	0,474
Intake air temperature (C)	-0,326	-0,586	-0,586	-0,277	-0,571
Absolute throttle position (%)	-0,010	0,509	0,509	0,225	0,277
Velocidad del GPS (km/h)	0,067	0,749	0,749	0,258	0,426
Ignition timing advance for _1	0,054	0,592	0,592	0,327	0,314
Engine coolant temperature (C)	-0,085	-0,138	-0,138	-0,119	-0,107
Short term fuel % trim - Bank	-0,002	0,066	0,066	-0,033	0,040

Ilustración 36-3: Correlación entre las 2 fuentes de datos

Realizado por: Guaman, J., 2023

Para la mejor correlación se debe utilizar el criterio de Pearson en el cual un valor más cercano a 1 y a -1 tiene una mejor correlación una vez identificado las 2 variables con la mejor correlación se deberá realizar el desface de tiempo y generar la correlación entre las 2 variables como consideración se debe desfazar hasta los 12 segundos.

Correlación: MAP; CO1; CO2; CO3; CO4; CO5; CO6; CO7; CO8; CO9; CO10; CO11; CO12;												
	MAP	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6	CO7	CO8	CO9	CO10	CO11
CO1	0,192											
CO2	0,195	0,984										
CO3	0,199	0,953	0,984									
CO4	0,202	0,923	0,953	0,984								
CO5	0,205	0,895	0,923	0,953	0,984							
CO6	0,207	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984						
CO7	0,207	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984					
CO8	0,204	0,826	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984				
CO9	0,202	0,805	0,826	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984			
CO10	0,200	0,786	0,805	0,826	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984		
CO11	0,200	0,767	0,786	0,805	0,826	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984	
CO12	0,190	0,750	0,767	0,786	0,805	0,826	0,847	0,870	0,895	0,923	0,953	0,984
CO13	0,190	0,984	0,953	0,923	0,895	0,870	0,847	0,826	0,805	0,786	0,767	0,750
CO14	0,188	0,953	0,923	0,895	0,870	0,847	0,826	0,805	0,786	0,767	0,750	0,732
CO15	0,187	0,923	0,895	0,870	0,847	0,826	0,805	0,786	0,767	0,750	0,732	0,715
CO16	0,187	0,895	0,870	0,847	0,826	0,805	0,786	0,767	0,750	0,732	0,715	0,699

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	MAP	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6	CO7	CO8	CO9	CO10
1	8,41	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45
2	8,41	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45
3	3,63	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46
4	3,63	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46
5	3,63	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46

Ilustración 37-3: Correlación de los parámetros con mejor correlación

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 37-3 se tiene la obtención de la correlación con respecto al desfase de tiempo entre las 2 variables de las 2 bases de datos tanto del conector OBD II como del analizador de gases en el cual se procede a seleccionar el par de variables con mejor grado de correlación o coeficiente de correlación.

Tabla 21-3: Coeficientes de correlación entre variable para el desfase de tiempo

Coeficientes de correlación de Pearson				
	Destino	Correlación	P	T (s)
HHO	Riobamba	IAT-CO	-0,43	5
	Guano	ECT-O2	0,57	10
	Ambato	MAP-Nox	0,41	6
SN HHO	Riobamba	IAT-HC	0,43	8
	Guano	IAT-HC	-0,34	4
	Ambato	MAP-CO	0,19	3

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como muestra en la Tabla 21-3 se tiene las correlaciones de las 2 bases de datos para el ajuste del desfase de tiempo como se puede observar se tiene valores de Pearson tanto positivos como negativos debido al comportamiento o dispersión de los datos siendo positivo mayor a 1 y menor a 1 correlación negativa respectivamente

Diferencia relativa

La diferencia relativa de los índices de refracción es el coeficiente entre la diferencia de estos y el más grande de los índices de la refracción. Además, este valor es la diferencia entre los índices descrita de la siguiente manera.

La interpretación es que este valor representa que la fracción de n_2 es la diferencia entre ambos índices

$$\Delta = \frac{n_2 - n_1}{n_2}$$

$$\Delta\% = \frac{n_2 - n_1}{n_2} \times 100\%$$

Al tratarse únicamente con 2 valores representativos de 2 bases de datos sometidas a 2 condiciones netamente diferente este error relativo se deberá considerar entre un rango del 5-15% de error como máximo ya que esta frecuencia estadística que más información proporciona acerca de dichas variables. (RPD (Diferencia de porcentaje relativo), 2020)

Validación entre rutas

Mediante el método de diferencia Relativa de 2 factores se validó la ruta sometida a cambios para estudio que cumpla o se aproxime al error porcentual del 5- 15 % de variación entre rutas para lo cual se considera los cambios de velocidad, tiempos de ralentí, distancia recorrida, aceleraciones valores promedios respectivamente en sus modalidades.

Tabla 22-3: Validación de rutas por método de diferencia relativa entre condiciones

DIFERENCIA RELATIVA EN SUS MODALIDADES									
Parámetros Considerados:	RUTA CIUDAD			RUTA CARRETERA			RUTA CARRETERA - CIUDAD		
	HHO	SN HHO	Δ%	HHO	SN HHO	Δ%	HHO	SN HHO	Δ%
Velocidad promedio (km/h)	18,83	19,39	3	37,85	38,02	0,44	18,20	17,55	3,57
Aceleración Promedio (+) (m/s ²)	0,41	0,453	11,20	0,48	0,48	1,27	0,42	0,43	0,43
Aceleración Promedio (-) (m/s ²)	-0,41	-0,49	2,90	-0,076	0,46	8,3	-0,42	-0,25	4,1
Tiempo de Ralentí (RPM)	1462	1382	5	3015	3050	1,16	23,83	2357	1,09

Realizado por: Guaman, J., 2023

La validación de ruta mediante el método de diferencia relativa se analizó los parámetros dinámicos para lo cual fue necesario el determinar tiempos de ralentí considerado cuando la velocidad del vehículo llega a ser cero (0) estos cálculos realizados se detallan en los anexos detallado como cálculos para la validación de las rutas y su respectivo ciclo de conducción generado en los anexos para la validación y el procesamiento de los datos para los cálculos respectivos.

t de Student

Es utilizada para la determinación si existe diferencias entre las medias de 2 grupos mediante la estadística deductiva que posee una distribución normal está diseñada para la validación de hipótesis en estudios con muestras inferiores a 30 valores a través de la siguiente ecuación (Estadística en Investigación,2022).

Para la obtención de una mejor probabilidad se considera una confiabilidad del 95% para el caso de estudio se decidió tener en cuenta la prueba estadística de t de Student, en el cual esta prueba

evalúa las medias de las poblaciones a estudiarse, estableciendo como la hipótesis nula como el valor igual a las 2 medias, además se considera a la hipótesis alternativa como su negación es decir que sus medias son diferentes.

Para su aplicación se debe seguir los siguientes pasos que se detalla a continuación:

- Establecer la hipótesis nula y alternativa donde u representa la media de cada población $H_0: u_1 = u_2$ y $H_1: u_1 \neq u_2$
- Delimitar el nivel de significancia (α), considerar un valor de 0,05
- Calcular: medias de las poblaciones, varianzas de las poblaciones, grados de libertad, estadístico t
- Establecer una decisión

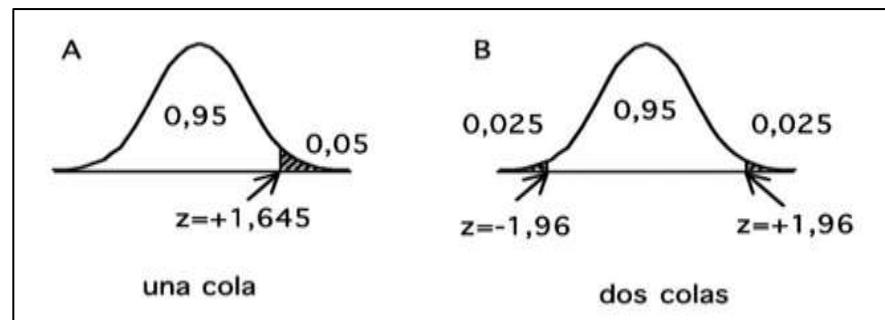


Ilustración 38-3: Curvas para la toma de decisión de t de Student

Fuente: (Dagnino S. 2014)

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la presente sección se presenta los resultados obtenidos con la implementación del generador de hidrogeno Plasmafire (HHO) respectivamente y su efecto sobre el consumo de combustible y factores de emisión en ruta. Además, su incidencia en las prestaciones de torque, potencia y consumo del motor realizadas en el banco dinamométrico y pruebas de ruta en sus respectivas modalidades.

4.1. Análisis del efecto sobre el consumo de combustible

Los valores obtenidos en el consumo de combustible de combustible en sus respectivas modalidades bajo las siguientes consideraciones: Numero de ocupantes (3 personas), velocidad promedio, trayecto, Tráfico vehicular (horas pico), punto de partida y llegada (Estación Yaruquies), gasolina (extra) entre otras características que influyen en el comportamiento dinámico del vehículo.



Ilustración 1-4: Estación de Servicio en Yaruquies Abastecimiento de combustible

Realizado por: Guaman, J., 2023

Los valores obtenidos del consumo de combustible real de combustible se consideró la estación de servicio de la parroquia urbana Yaruquies como punto de partida y llegada mediante la metodología empírica diferencia de abastecimiento entre cada trayecto considerada para cada modalidad para el cual fue indispensable el ir evidenciando las facturas respectivas de cada prueba que se encuentra detallada en el anexo #.

Tabla 1-4: Consumo de combustible en sus respectivas modalidades en ruta

CONSUMO DE COMBUSTIBLE				
Parámetros	N.º Prueba	Modalidades		
		Ciudad	Carretera	Ciudad - Carretera
Distancia (Km)		22	110	28
Velocidad (km/h)		18	38	20
HHO	1	0,95	8,50	1,35
	2	1,05	7,50	1,45
	3	1,00	6,50	1,40
Consumo	(\$)	1,00	7,50	1,40
	(lt)	1,58	11,83	2,21
	(km/lt)	13,95	9,30	12,68
SN HHO	1	1,65	8,75	1,80
	2	1,35	9,50	1,60
	3	1,5	8,50	1,70
Consumo	(\$)	1,50	8,92	1,70
	(lt)	2,37	14,06	2,68
	(km/lt)	9,30	7,82	10,44
Diferencia	(\$)	0,50	1,42	0,30
Eficiencia	(%)	33%	16%	18%

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se muestra en la tabla 1-4 se tiene el consumo de combustible en sus respectivas modalidades en el cual se obtuvo un mayor rendimiento en la modalidad ciudad (HHO). Además, se obtuvo 13,95 km/lt frente a 9,30 km/lt (SN HHO) lo cual representa una eficiencia alrededor del 33% con una reducción de 0,50 USD. Sin embargo, cabe recalcar el trayecto influyo en este valor representativo.

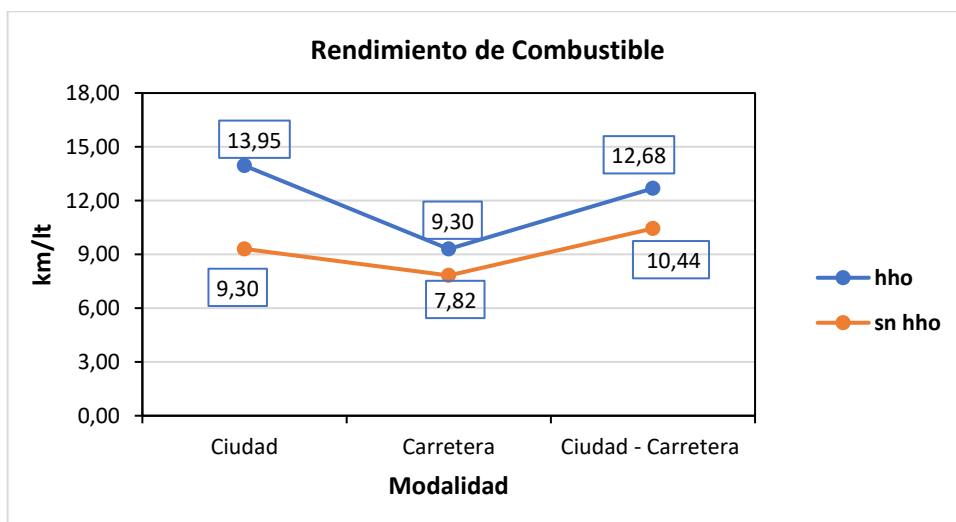


Ilustración 2-4: Rendimiento del combustible en sus modalidades

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 2-4 se puede identificar los rendimientos en km/lt en sus 2 condiciones de operación se tiene un considerable rendimiento en la modalidad Carretera de 9,30 km/lt frente a 7,82 km/lt con la adición (HHO). Sin embargo, representa una eficiencia en el ahorro de combustible del 16% aproximadamente por lo tanto en el trayecto Riobamba Ambato se obtuvo una diferencia de 1,40 USD durante el ciclo de prueba en ruta.

Finalmente se obtuvo el consumo de combustible en la modalidad Ciudad carretera realizada en el trayecto Riobamba Guano teniendo un rendimiento de 12,68 km /lt frente a los 10,44 km/lt. Además, representa una eficiencia alrededor del 18% con una reducción o ahorro de 0,30 USD. Al ser un trayecto corto este valor indica un valor aproximado del efecto de la adición de hidrogeno (HHO).

4.2. Efecto sobre los factores de emisión

La obtención y cálculo de los factores de emisión se utilizó las 2 fuentes de base de datos obtenidas de los parámetros del motor del conector OBD II y los datos de las concentraciones de emisiones generadas por el analizador de gases MAHA MET 6.3 realizada bajo las modalidades indicadas mediante la utilización de los softwares de minitab y Excel para las correlaciones y cálculos respectivos realizados.

Tabla 2-4: Factores de emisión bajo sus modalidades

FACTORES DE EMISIÓN															
Condición	Modalidades														
	Ciudad					Carretera					Ciudad – Carretera				
	CO	NOx	HC	CO2	O2	CO	NOx	HC	CO2	O2	CO	NOx	HC	CO2	O2
SN HHO	2,99	0,14	0,20	343,26	103,19	3,86	0,12	0,15	300,26	103,68	2,95	0,18	0,06	346,79	57,28
HHO	2,07	0,16	0,12	329,01	75,29	2,72	0,09	0,07	258,83	129,07	2,34	0,25	0,03	295,36	113,64
Diferencia	-0,92	0,03	-0,08	-14,26	-27,90	-1,13	-0,02	-0,08	-41,43	25,39	-0,6	0,07	-0,03	-51,43	56,36
Eficiencia (%)	31	20	42	4	27	29	19	54	14	24	20	41	45	15	98

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se indica en la Tabla 2-4 se tienen los resultados obtenidos de los factores de emisión en sus respectivas modalidades. Además, se consideró los valores de los factores de emisión del

Oxígeno (O₂) y Dióxido de Carbono (CO₂) para su comparativa adicional a los factores que consisten en la normativa INEN 2204 2002.

4.2.1. Factores de emisión Ciudad

El trayecto dentro de la ciudad de Riobamba se consideró las principales avenidas de mayor circulación y flujo vehicular como se detalla en la selección de ruta ciudad en la Tabla 9-3 bajo los parámetros de diferencia relativa. Además, bajo la consideración de ciertos parámetros como: velocidad promedio de 20 km/h, forma de conducción, señalética que influyo en la duración del ciclo de 47 minutos con una distancia de recorrido total de 22 km como se detalla en el Anexo E.

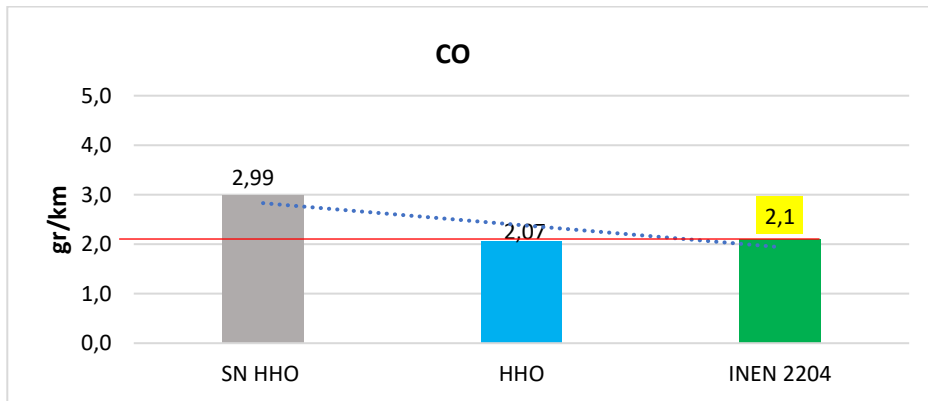


Ilustración 3-4: Factor de Emisión CO Ciudad

Realizado por: Guaman, J., 2023

Los factores de emisión para el monóxido de carbono en ciudad se evidencian una considerable reducción del 31% con la adición de hidrogeno HHO de 2,07 gr/km a diferencia de su valor inicial de 2,99 gr/km. Por lo tanto, se puede constatar bajo la Normativa INEN 2204 se encuentra dentro de los límites.

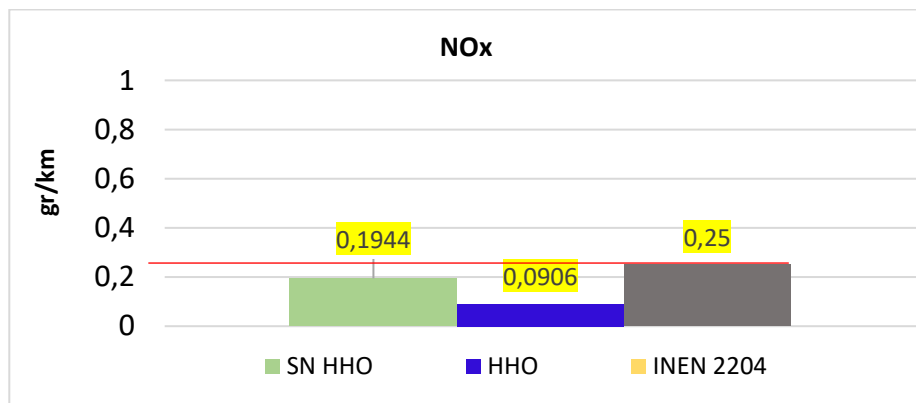


Ilustración 4-4: Factores de Emisión NOx Ciudad

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se muestra en la ilustración 4-4 los factores de emisión para Monóxido de nitrógeno (NOx) se encuentran dentro de los límites establecidos en la Normativa INEN 2204 de 0,25 ya que la incidencia de la adición de hidrógeno permitió una reducción de 0,19 a 0,09 gr/km.

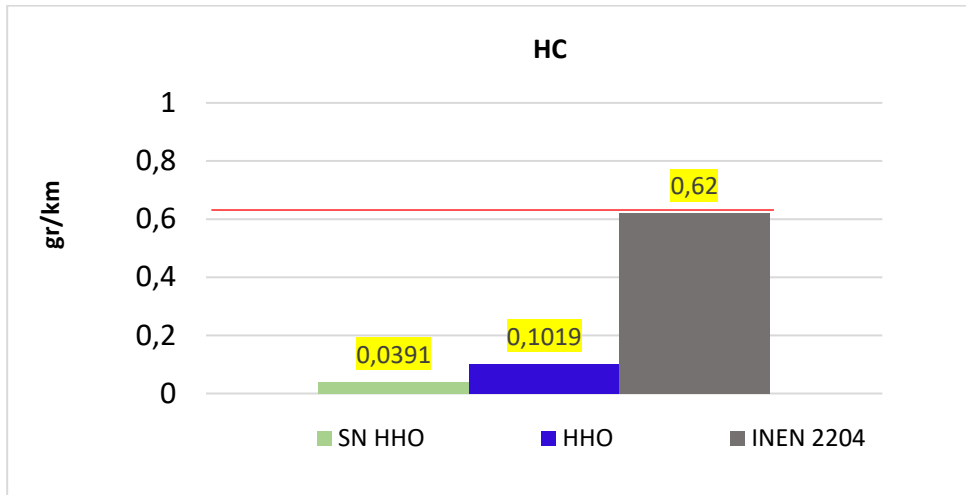


Ilustración 5-4: Factores de Emisión HC Ciudad

Realizado por: Guaman, J., 2023

Los factores de emisión de los Hidrocarburos se pueden evidenciar que la incidencia de de hidrógeno permitió un aumento de 0,039 a 0,10 gr/km de forma que si se encuentra dentro de los limites permisibles ya que se encuentran por debajo de los 0,62 gr/km establecida en la normativa.

4.2.2. Factor de emisión Carretera

El trayecto Riobamba – Guano modalidad carretera se realizó bajo las siguientes consideraciones bajo el criterio de diferencia relativa entre las 2 condiciones de operación del vehículo: velocidad promedio 49 km/h, forma de conducción, flujo vehicular entre otros aspectos que interviene en la duración del ciclo de 2 horas con 10 minutos con una distancia total recorrida de 110 km como se puede apreciar el perfil de velocidades en el Anexo F durante el trayecto hasta el punto de partida y llegada a la estación de servicio Yaruquies

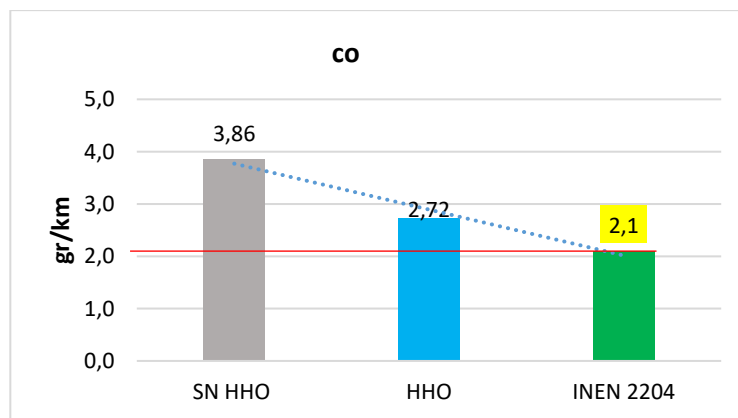


Ilustración 6-4: Factores de Emisión CO Carretera

Realizado por: (Guaman, J., 2023)

Los factores de emisión del Monóxido de Carbono que se obtuvo bajo la modalidad Carretera en el trayecto Riobamba – Ambato se puede observar en la Ilustración 4-3 no se encuentran dentro del límite establecido en la Normativa INEN 2204 de 2,1 gr/km. Sin embargo, se evidencia una considerable reducción operando el vehículo con la adición de Hidrogeno (HHO) de forma que se tiene una diferencia de 1,13 gr/km a su operación en su condición normal del vehículo.

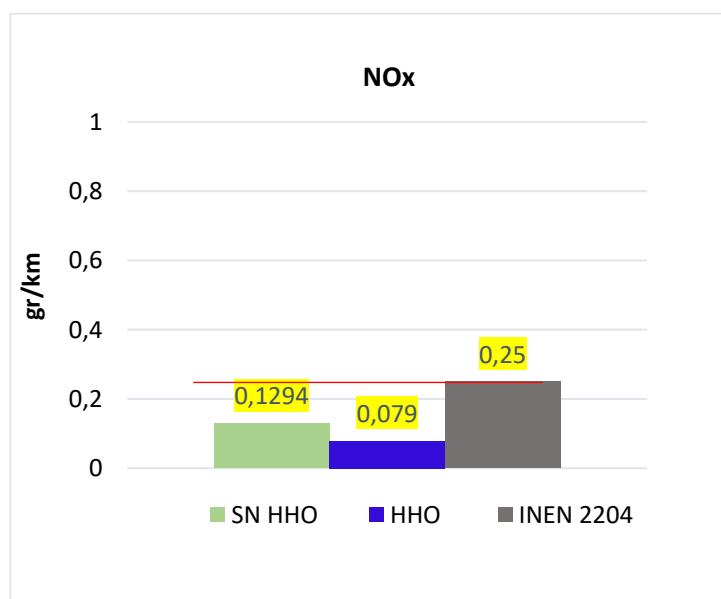


Ilustración 7-4: Factores de Emisión NOx Carretera

Realizado por: Guaman, J., 2023

La Ilustración 7-4 muestra los factores de emisión de los NOx en la modalidad Carretera en el cual se puede evidenciar que se encuentra del límite establecido en la normativa INEN 2204 de 0,25gr/km ya que su valor es de 0,079 gr/km.

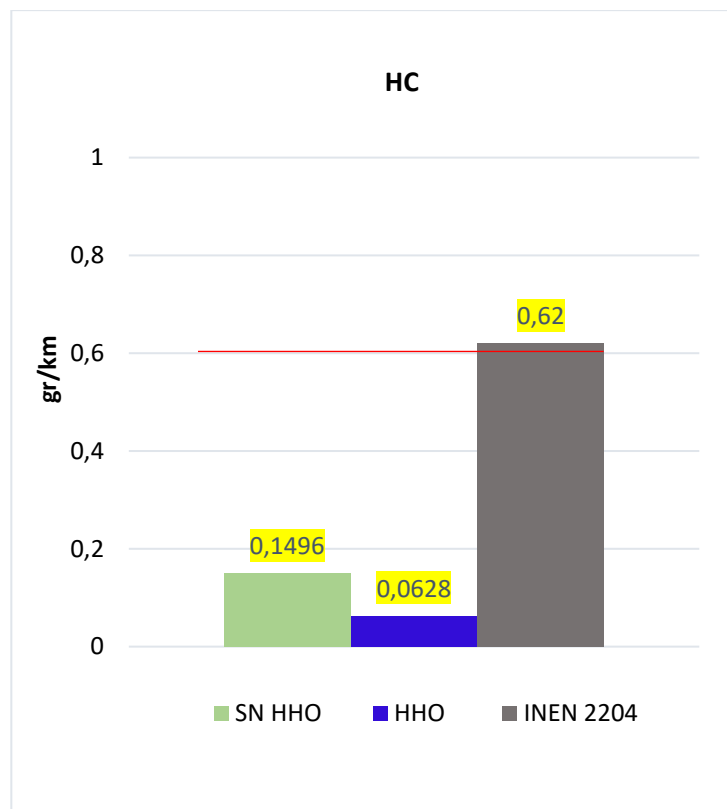


Ilustración 8-4: Factores de Emisión HC Carretera

Realizado por: Guaman, J., 2023

No Obstante, se logra evidenciar una mínima diferencia en la reducción de los HC en la modalidad carretera de forma que la incidencia del hidrógeno permitió la reducción de 0,14 a 0,062 gr/km de forma que si se encuentran dentro del límite establecido en la normativa.

4.2.3. Factores de emisión Ciudad - Carretera

En el trayecto del ciclo en carretera Riobamba – Ambato ruta seleccionada para las pruebas en carretera en el cual se registraron los datos bajo los parámetros considerados para la estimación y cálculos este ciclo una duración de 3 horas con 20 minutos en total en completar su recorrido de 28 km como se puede evidenciar el perfil de velocidades en el Anexo G y factores externos como el tráfico vehicular, forma de conducción, velocidad de intervinieron en la duración del ciclo.

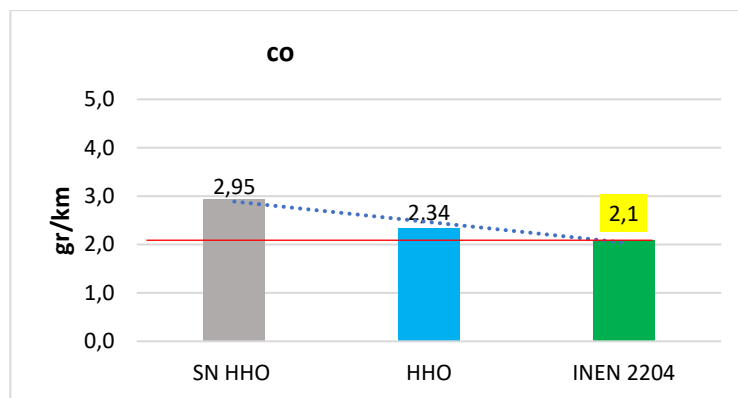


Ilustración 9-4: Factores de Emisión CO Ciudad - Carretera

Realizado por: Guaman, J., 2023

Los factores de emisión del Monóxido de Carbono (CO) en carretera se observan en la Ilustración 9-4 que con el vehículo operando en las 2 condiciones no se encuentran dentro de los parámetros o límites establecidos en la normativa INEN 2204 de 2,1 gr/km. Además, se tiene una reducción considerable de 1,13 gr/km bajo la operación del vehículo con HHO.

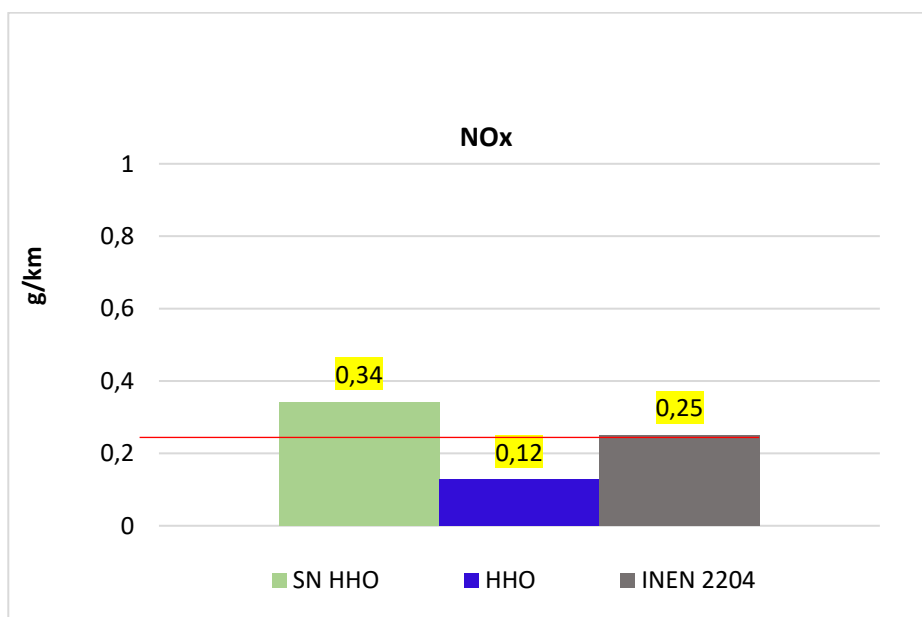


Ilustración 10-4: Factores de emisión NOx Ciudad - Carretera

Realizado por: Guaman, J., 2023

El factor de emisión de Monóxidos de Nitrógeno (NOx) se determina que la incidencia de la adición del Hidrógeno permitió la reducción de 0,34 a 0,12 gr/km se encuentra dentro de los límites establecidos en la normativa INEN 2204 ya que se encuentran por debajo de los parámetros establecidos.

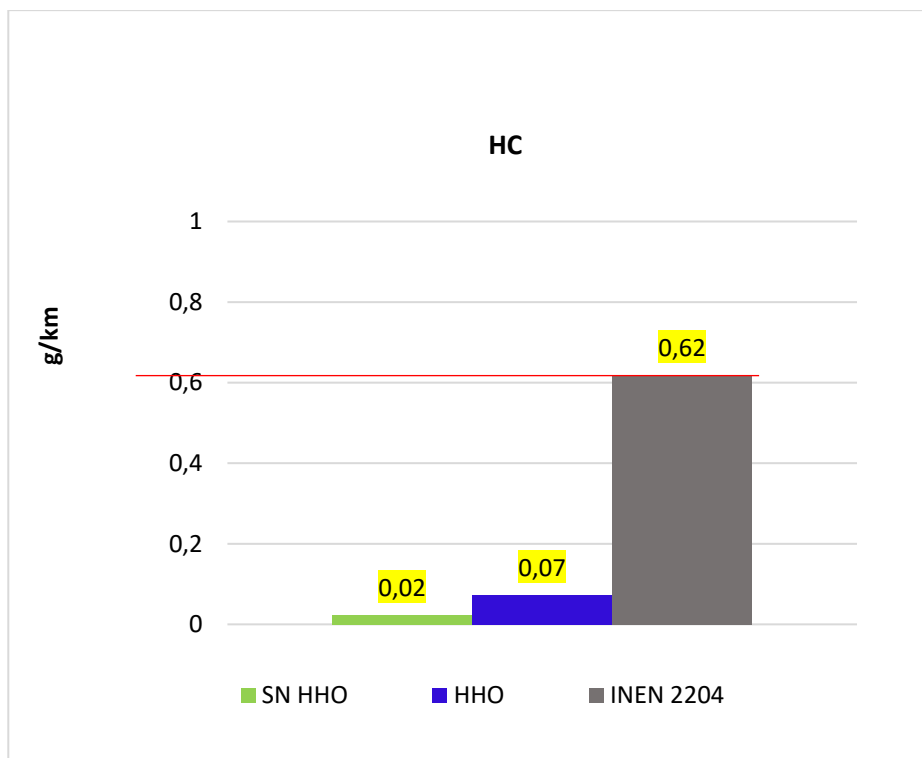


Ilustración 11-4: Factores de Emisión HC Ciudad - Carretera

Realizado por: Guaman, J., 2023

En el caso del factor de emisión para los Hidrocarburos se puede evidenciar la incidencia de la adición del hidrógeno en un aumento considerable de 0,02 a 0,07 gr/km respectivamente. Sin embargo, se puede apreciar que se encuentra dentro de los límites establecidos en la normativa INEN 2204 ya que se encuentra por debajo del rango establecido de 0,62 gr/km.

4.3. Análisis en el efecto sobre las prestaciones del motor 1.6 Great Wall M4

En esta sección se detalla las curvas características obtenidas de torque, potencia y consumo específica realizada en el banco dinamométrico y mediante la utilización de la balanza de combustible realizadas en el taller automotriz mundo Tuerca en la ciudad de Riobamba. Además, se considera su respectiva comparativa entre sus 2 condiciones de operación del vehículo con los equipos utilizados.

4.3.1. Análisis del efecto sobre el torque, potencia y consumo específico

Mediante la implementación del sistema de generación de hidrogeno Plasmafire del tipo de celdas húmedas se pudo hacer las siguientes comparaciones en las curvas características del torque y potencia realizadas en el banco dinamométrico.

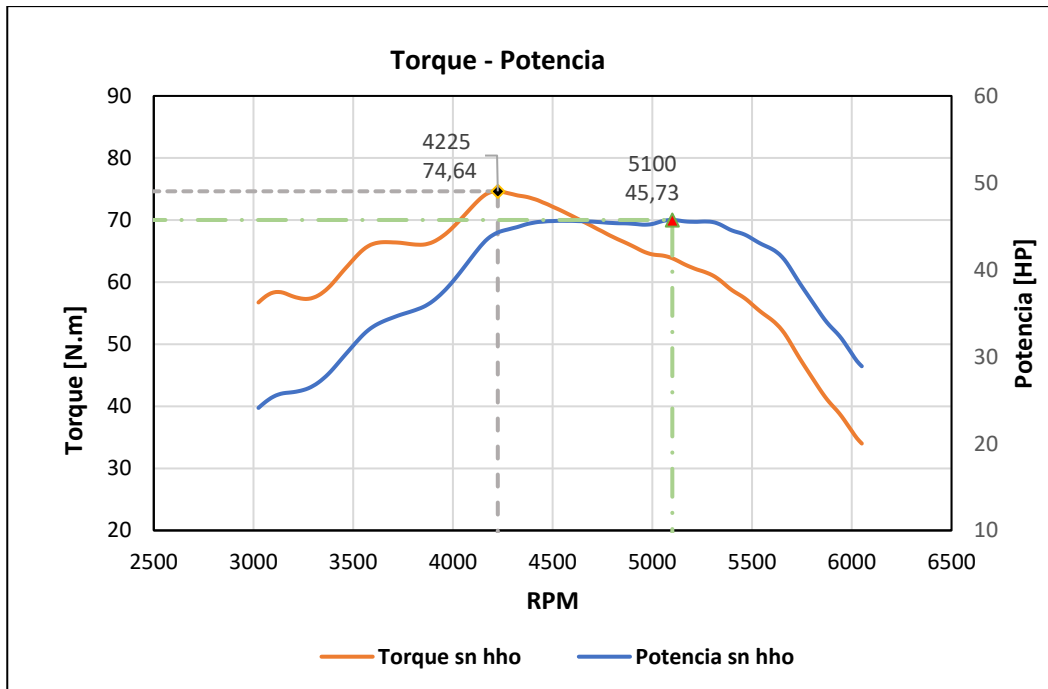


Ilustración 12-4: Curva característica de Torque, Potencia (SN HHO)

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la comparativa de las curvas características del torque, potencia con el vehículo sin el generador se puede identificar que su curva máxima de torque llega a un pico máximo de 74,64 N.m a un régimen de 4225 rpm y una curva de potencia de 45,73 HP a un régimen de 5100 rpm

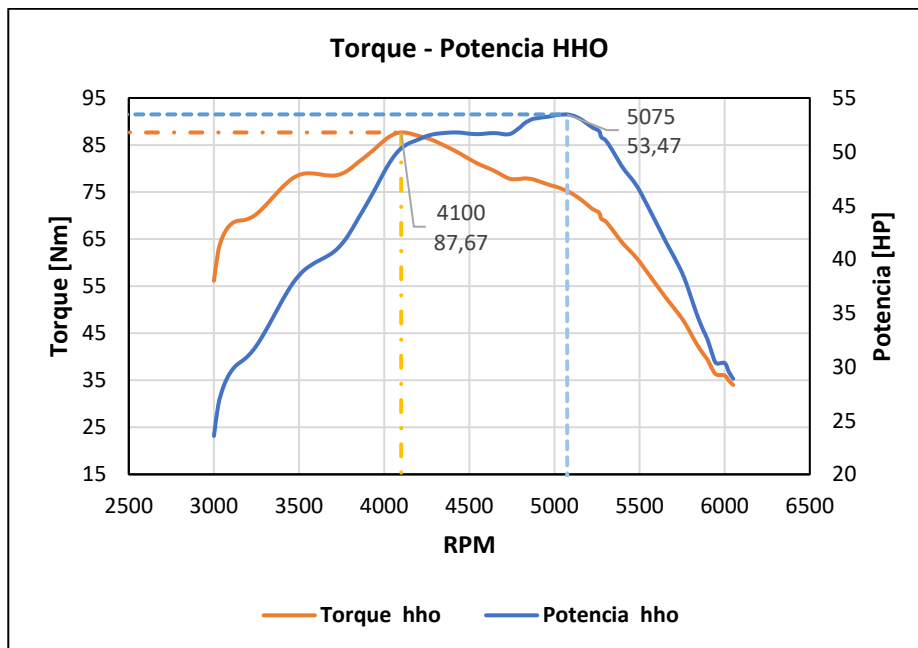


Ilustración 13-4: Curva característica de Torque, potencia con hho

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se muestra en la ilustración 13-4 se tiene la curva de torque y potencia en el cual se puede evidenciar que la implementación de un generador de hidrogeno aumenta en un mayor intervalo de torque de 87,77 N.m a un régimen de los 4088 rpm y una potencia de 53,47 HP

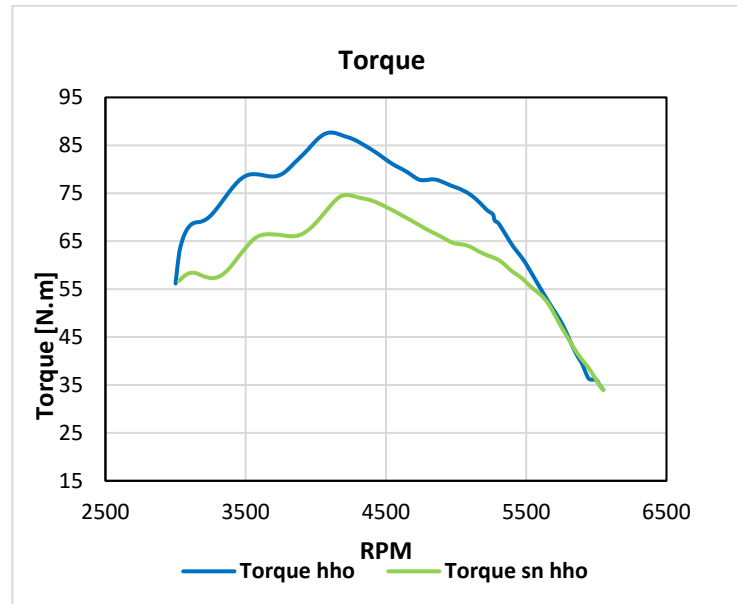


Ilustración 14-4: Curvas características comparativas de Torque

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 14-4 se tiene la comparativa de las curvas del torque con el vehículo implementado el sistema de generación de hidrógeno y el vehículo convencional sin el generador de hidrógeno en el cual se puede apreciar un notable incremento como efecto de la adición de hidrogeno como combustible alternativo en el múltiple de admisión teniendo los siguientes valores de 74,64 a 87,67 N.m respectivamente. Por lo tanto se puede identificar una diferencia de 13 N.m o en los valores obtenidos o un 17 % de incremento en su toque máximo del vehículo convencional

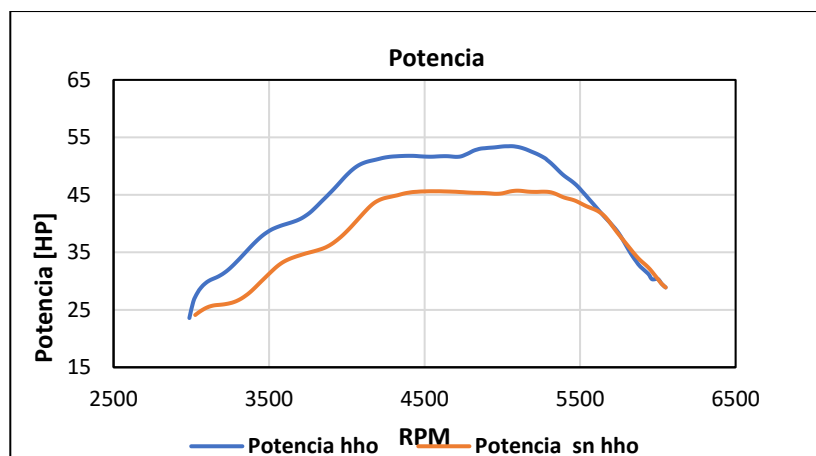


Ilustración 15-4: Curvas características comparativas de Potencia

Realizado por: Guaman, J., 2023

En la ilustración 15-4: se puede observar el incremento de la potencia ante la implementación de un generador de hidrogeno en el cual el vehículo convencional sin el generador de hidrogeno tiene una potencia máxima de 45,73 HP a un régimen del motor de 5100 rpm y una potencia máxima implementado el generador de hidrogeno de 53,47 HP aun régimen de 5063 rpm lo cual representa un incremento representativo de 7,75 HP o un incremento del 17% del valor máximo de potencia con el vehículo convencional.

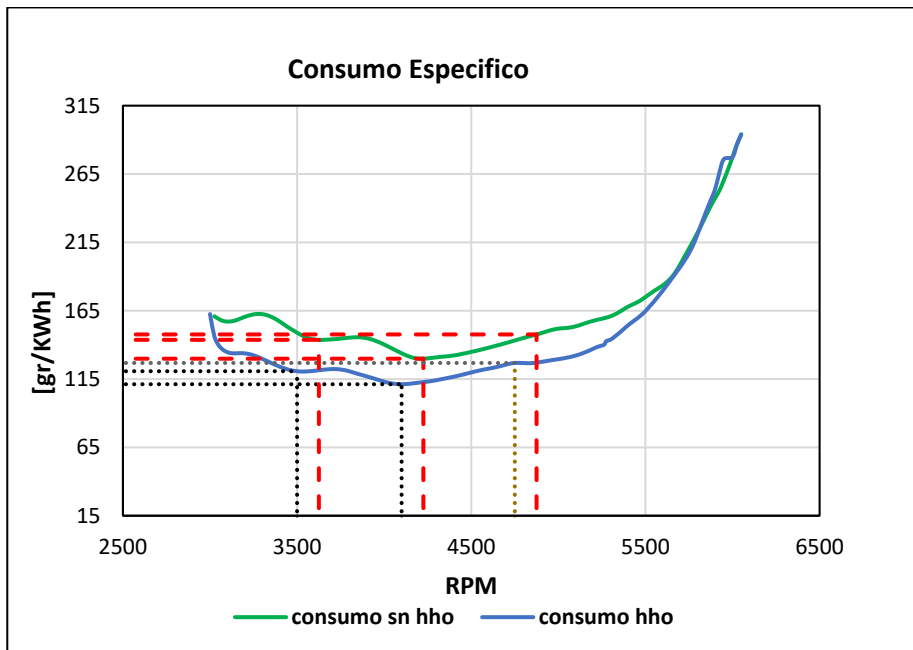


Ilustración 16-4: Curva Consumo de Combustible especifico

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se puede observar la ilustración 16-4 se tiene los consumos de combustibles con el vehículo implementado el sistema de generación de hidrogeno y el vehículo sin el hidrogeno en el cual puede evidenciar la diferencia que se genera al adicionar el hidrogeno como combustible adicional en el múltiple de admisión en el cual se ve un menor consumo entre los rangos de los 300 a 4700 revoluciones por minuto del motor

Además, debido a mayores exigencias del motor se tiene un mayor consumo de combustible entre los rangos a partir de los valores de los 4800 rpm teniendo una tendencia alcista la curva característica del consumo de combustible.

4.4. Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación ante la implementación del sistema de generación de hidrogeno Plasmafire se realizó bajo 3 modalidades de rutas independientes:

Ciudad, Carretera, Ciudad – Carretera realizadas en los trayectos Riobamba, Riobamba – Guano, Riobamba – Ambato respectivamente bajo parámetros indispensables como: velocidad, numero de ocupantes, distancia recorrida, conductor y horas pico de tráfico vehicular mediante la utilización de la metodología de diferencia relativa para lo cual se consideró 3 muestras respectivas para las condiciones de operación del vehículo. Además, para su comparativa se empleó la normativa INEN 2204 que considera pruebas en rutas dinámicas establecida en el Ecuador a nivel Nacional obteniendo los siguientes valores en el efecto sobre el consumo real de combustible y los factores de emisión tuvieron mayor nivel de significancia realizada en la modalidad ciudad realizada en la ciudad de Riobamba alrededor del 33% en disminución del consumo de combustible y un 33% en la disminución de las emisiones contaminantes en gr/km.

Además las pruebas realizadas en el banco dinamométrico para la evaluación en el aporte en las prestaciones de torque, potencia y consumo de combustible de forma que se obtuvo los siguientes resultados una aumento en el torque y potencia máximo de 9,61 Lb.ft y 7,75 HP respectivamente en conclusión se incrementó un 17% de eficiencia de su valor nominal. Además, en el consumo de combustible específico se obtuvo una eficiencia en el ahorro de combustible aproximado de 14 % en un valor mínimo de 129 gr/Kwh a 4100 rpm.

Debido a que no existe la evidencia a acerca de sistemas de generación de hidrogeno de celdas húmedas se procedió a realizar la comparativa con los generadores de celda seca considerados como más eficientes según varios autores: ((Pesántez y Tacuri ,2021, p.67)), (Guamán et al. 2022, p.87). los resultados obtenidos en torque y potencia por el mismo tipo de sistema de celda húmeda se aproximan a los resultados obtenidos en la investigación de (Caiza 2015) en el cual se obtuvo un aumento en la potencia del 5,61 %, trabajo mecánico (Torque) 5,04 además de la reducción en las emisiones contaminantes en un rango del 5- 10 % en ralentí y del 50 al 60% en las emisiones a velocidad crucero realizada la prueba en un vehículo de cilindrada de 1300 cc con un sistema a carburación.

Los valores obtenidos en esta investigación se aproximan a la investigación realizada por Gutarevych et al. 2018) en el cual se determinó el impacto del aditivo H₂ en el motor de combustión interna se pudo obtener una reducción de consumo de combustible específico en un 14% además de tener una reducción de concentraciones de CO en un 0,57% .Sin embargo se obtuvo un aumento del material particulado o HC de 1290 ppm a 1360 ppm tal aumento afirma debido al incremento de la temperatura en el interior del cilindro. Cabe indicar que el tipo de generador de hidrogeno para esta investigación es del tipo de celdas secas de forma que existe una diferencia en el diseño y configuración de la generación de hidrógeno.

Los resultados obtenidos de torque, potencia y consumo de combustible se aproximan a los valores obtenidos en las investigaciones que implementaron el sistema de generación de celdas húmedas HIDROXIECUADOR pertenecientes a (Benavides y Omar 2018) ,(Chamorro,2017) en el cual se obtuvieron estudios realizados en las ciudades de Quito y Latacunga respectivamente en el cual se analizaron la reducción del consumo de combustible en ruta en el cual se obtuvo el siguiente resultado una reducción en el consumo de combustible de 8,91% en un trayecto de 14 km y 30% en un trayecto 105 km en donde se utilizó la metodología por diferencia de abastecimiento metodología también utilizada en la investigación de (Quizhpilema, 2021) en el cual se sometió a 3 vehículos de similar cilindrada para determinar el ahorro de combustible. Además, se obtuvo un incremento en el torque y potencia del 5,65% y de 2,03 % respectivamente.

4.5. Validación y aprobación de la hipótesis

En el presente apartado se realiza la estimación del estadístico de prueba t de Student en el cual se tendrá en cuenta un nivel de significancias del 5% para lo cual se consideraran los promedios respectivos realizado en el software de minitab para las pruebas en ruta de consumo real de combustible y factores de emisión.

A continuación, se presenta los aspectos considerados en los resultados de la investigación.

Tabla 3-4: Parámetros considerados para la validación estadística

Tipo de muestras	Independientes
Estadístico de prueba	Z para dos muestras (2 colas)
H_0	El hidrógeno añadido mediante un generador externo en el múltiple de admisión no afecta en el consumo de combustible y los factores de emisión en un motor de 1.5 litros de aspiración natural.
H_1	El hidrógeno añadido mediante un generador externo en el múltiple de admisión afecta en el consumo de combustible y los factores de emisión en un motor de 1.5 litros de aspiración natural.
Nivel de de significancia	95%

Realizado por:(Guaman, J., 2023)

4.5.1. Resultado del análisis estadístico

Determinado los parámetros y la hipótesis nula se define las variables independientes para la aprobación de la hipótesis con un margen de significancia del 5% se procede analizar

respectivamente tanto en la incidencia del consumo de combustible en ruta como para los índices de os factores de emisión obtenidas en ruta.

Al tratarse de evaluar bajo 2 condiciones de funcionamiento o condiciones se considerar la t de Student de 2 colas debido a que se tienen una igualdad negación de la mismo en la consideración de la hipótesis es por ello por lo que se debe considerar el valor de p con un rango de significancia del 5%

$$P = \frac{\alpha}{2} < \frac{0,05}{2} < 0,025$$

En el cual se tiene que para la validación de la hipótesis alternativa se deberá tener un valor de P menor al nivel de significancia para lo cual se deberá ir evaluando respectivamente bajo la consideración de las variables independientes como es el consumo de combustible y los factores de emisiones obtenidas en las pruebas de ruta.

Tabla 4-4: Variables consideradas para la validación de la hipótesis

Factores de Emisión	Consumo de combustible	Condición	
HC, NO _x , CO	Ciudad	HHO	SN HHO
	Carretera		
	Ciudad- Carretera		

Realizado por: Guaman, J., 2023

Una vez identificado los parámetros y la hipótesis nula y alternativa se analizarán de forma independiente la validación de la hipótesis bajo el criterio de t de Student bajo las 3 modalidades consideradas para lo cual se lo validara con los datos del consumo de combustible ya que los factores de emisión dependen específicamente del consumo de combustible.

Debido al criterio de validación de las rutas para la estimación de los factores de emisión considerado como la condición de la diferencia relativa con un nivel de significancia del 5-15% se tienen 3 observaciones de estudio con la condición de operación de Adición de HHO frente a las observaciones del vehículo operando a condiciones normales.

4.4.1.2. Validación Factores de emisión y consumo de combustible

Para la validación de la hipótesis del presente estudio bajo las 3 modalidades de operación considerada en el caso como muestras independientes debido a condiciones de operación diferentes respecto al tiempo, lugar, ciclo de conducción y operación del vehículo para lo cual se toma como variable independiente el consumo de combustible real en ruta.

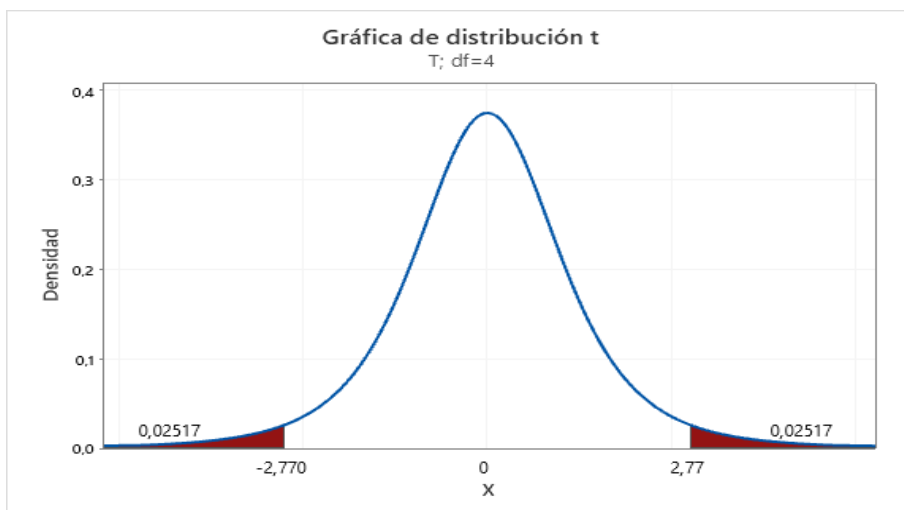


Ilustración 17-4: Distribución t en el punto crítico para 3 observaciones

Realizado por: Guaman, J., 2023

Para la validación se considera un nivel de significancia de 0,05 valor que indica un alto nivel de significancia entre condiciones para el caso de estudio se considera el estadístico t de Student de 2 colas en el cual debe cumplir la condición de nivel de significancia de 0,025 para rechazar la hipótesis nula H_0 .

Validación del consumo en Ruta Ciudad

Para el análisis de la incidencia en el consumo de combustible en ciudad se consideró 3 observaciones bajo las 2 consideraciones de funcionamiento del vehículo.

Tabla 5-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Ciudad

Prueba t para Ciudad de dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>HHO</i>	<i>SN HHO</i>
Media	1	1,5
Varianza	0,0025	0,0225
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0,0125	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-5,48	
P(T<=t) una cola	0,00270424	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	0,00540848	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77	

Estimación de la diferencia		
	Desv.Est.	IC de 95% para la diferencia
Diferencia agrupada	0,1118	(-0,7535; -0,2465)

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 =$	0
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq$	0
G		
Valor T	L	Valor p
-5,48	4	0,005

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se muestra en la Tabla 5-4 se tiene el valor del estadístico t de Student para el consumo de combustible en \$ obtenido en la Ruta ciudad (Riobamba) en el cual se tiene el valor $p=0,005$.

$$p = 0,005 < \frac{\alpha}{2} = 0,025$$

El valor $p=0,005$ indica un valor menor del 0,025 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula lo cual representa que se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa. Po lo tanto, indica que si existe evidencia que la adición de HHO si afecta en la disminución del consumo de combustible.

Validación del consumo Ruta Carretera

Tabla 6-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Carretera

Prueba t ruta carretera para dos muestras suponiendo varianzas iguales			
	Variable 1	Variable 2	Estimación de la diferencia
Media	7,5	9	<p style="text-align: center;">IC de 95% para la Diferencia agrupada</p> <p style="text-align: center;">Desv.Est. diferencia</p> <p style="text-align: center;">-1,500 0,791 (-3,292; 0,292)</p>
Varianza	1	0,2500	
Observaciones	3	3	
Varianza agrupada	0,625		
Diferencia hipotética de las medias	0		Prueba
Grados de libertad	4		Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
Estadístico t	-2,32379		Valor T GL Valor p
P(T<=t) una cola	0,0404		-2,32 4 0,081
Valor crítico de t (una cola)	2,13		
P(T<=t) dos colas	0,08080014		
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511		

Realizado por: Guaman, J., 2023

Como se indica en la Tabla 6-4 se tiene un valor de $p=0,0808$ el cual nos indica que no se rechaza la hipótesis nula debido que es mayor a 0,025

$$p = 0,48 > \frac{\alpha}{2} = 0,025$$

Validación del consumo Ruta Ciudad - Carretera

Tabla 7-4: Estadístico t de Student para validación Modalidad Ciudad – Carretera

Prueba t para Ciudad - Carretera dos muestras suponiendo varianzas iguales									
	<i>HHO</i>	<i>SN</i> <i>HHO</i>	Estimación de la diferencia						
Media	1,4	1,7	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>Desv.Est. agrupada</th> <th>IC de 95% para la diferencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0,3000</td> <td>0,0791</td> <td>(-0,4792; -0,1208)</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia	-0,3000	0,0791	(-0,4792; -0,1208)
Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia							
-0,3000	0,0791	(-0,4792; -0,1208)							
Varianza	0,0025	0,01							
Observaciones	3	3	<p>Prueba</p> <p>Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Valor T</th> <th>GL</th> <th>Valor p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-4,65</td> <td>4</td> <td>0,010</td> </tr> </tbody> </table>	Valor T	GL	Valor p	-4,65	4	0,010
Valor T	GL	Valor p							
-4,65	4	0,010							
Varianza agrupada	0,00625								
Diferencia hipotética de las medias	0								
Grados de libertad	4								
Estadístico t	-4,64758002								
P(T<=t) una cola	0,00483948								
Valor crítico de t (una cola)	2,13								
P(T<=t) dos colas	0,00967895								
Valor crítico de t (dos colas)	2,77								

Realizado por: Guaman, J., 2023

Finalmente se tiene el valor p de 0,0096 mediante el estadístico t de Student para la ruta Ciudad Carretera en el cual se tuvo 3 observaciones o muestras

$$p = 0,0096 < \frac{\alpha}{2} = 0,025$$

El valor de p al ser menor al nivel de significancia de 0,025 se tiene que rechazar la hipótesis nula. Po lo tano, indica que la adición de hidrogeno si afecta en el consumo de combustible. Mediante la validación del criterio estadístico de t de Student se puede determinar que el nivel de significancia al 5% en el consumo de combustible se debe tuvo un efecto positivo de probabilidad las pruebas en la modalidad de ciudad y la combinación de ciudad, carretera realizada en la ciudad de Riobamba y la ruta ciudad carretera ciudad la ruta Riobamba - Guano en el cual se tuvo un ahorro de combustible representativo alrededor del 18 al 33 % de eficiencia respectivamente.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta

En base a la experiencia adquirida durante esta investigación se ha identificado las siguientes propuestas para trabajos futuros por realizar y mejorar:

- **Tamaño de muestra:** considerar mayor número de observaciones o pruebas en ruta en el cual se evidencie la distancia y duración de los trayectos
- **Mejoras en el sistema:** Utilizar un adecuado electrolito como el hidróxido de sodio o potasio y verificar el consumo y autonomía en ruta con lo cual se podrá identificar el mejor rendimiento vs el agua convencional o de botella utilizado en esta investigación.
- **Desgaste mecánico:** Analizar el efecto en las partes móviles al implementar la admisión de hidrógeno como combustible adicional en un tiempo determinado
- **Comportamiento Térmico:** Analizar del incremento de presión y temperatura en el interior de la cámara de combustión debido a la implementación de un generador de hidrogeno mediante la utilización de un sensor de presión
- **Prueba Estática:** Considerar la concentración de emisiones a ralentí y velocidad crucero para identificar el comportamiento de las emisiones y su efecto en la reducción de emisiones bajo la normativa de emisiones INEN 2203
- **Reacción Química:** Proponer un modelo químico en el cual se evidencie la adición de hidrogeno al motor de combustión interna

Bajo las siguientes consideraciones mencionadas se deberá contrastar y comparar con nuestros resultados obtenidos cabe recalcar que la estimación de los factores de emisiones se realizó la comparativa bajo la norma INEN 2204 de emisiones en pruebas dinámicas como gr/ km en el cual solo considera los factores de emisiones contaminantes de relevancia y nocivos para el medio ambiente.

CONCLUSIONES

- Para la obtención de información acerca de la generación de hidrogeno en fuentes confiables a nivel Nacional se reportó poca evidencia de la utilización del sistema de generación de hidrogeno de celda húmeda razón por el cual fue necesario recurrir a fuentes Internacionales como revistas, artículos científicos en el cual se analiza los efectos de adicionar hidrogeno en un motor de combustión interna fue indispensable ya que se pudo determinar con anterioridad las ventajas y desventajas de este tipo de combustible alternativo comprometedor introducido en la industria Automotriz.
- En la implementación del sistema de generación de hidrogeno previo a una revisión bibliográfica fue importante la realización de algunas comprobaciones para indicar la ficha técnica obtenida en la investigación se realizaron mediciones de la capacidad del reservorio, consumo de corriente, peso del generador, adaptación de filtro de captación o retención de agua antes de ingresar al múltiple de admisión y estimación del caudal. Además, cabe recalcar que para la alimentación de tensión del generador se tuvo que analizar el funcionamiento y activación de la bomba de combustible en el relé principal el mismo que proporcionaba el voltaje de batería.
- Durante las pruebas en ruta y en el banco dinamométrico se consideró que las condiciones de operación sean lo más similares posibles para lo cual fue necesario considerar números de ocupantes, velocidades máximas, velocidades promedio, tiempo de paradas, distancia recorrida y duración del trayecto razón por el cual las pruebas se realizaron semana tras semana motivo en el transcurso se analizaron estos parámetros considerados en la investigación. Mediante el cual se obtuvo una eficiencia alrededor del 17% en el Torque, Potencia y en el consumo de combustible específico alrededor del 14% realizado con la utilización de la Balanza. Además, los resultados obtenidos tienen un margen de error considerable debido a los tiempos en el cual se realizaba el purgado del filtro de retención de agua en el analizador de gases.
- Mediante las pruebas en ruta realizada bajo las modalidades consideradas se puede evidenciar que existe una reducción considerable de consumo de combustible en la modalidad Ciudad en el cual se verifico una reducción en el consumo de combustible alrededor del 33% y 18% en las emisiones contaminantes (HC, NOx, CO) considerados en la normativa INEN 2204. Sin Embargo, se obtuvo la mayor reducción de emisiones contaminantes en la modalidad carretera alrededor del 34%

RECOMENDACIONES

Mediante la ejecución de la presente investigación e inconvenientes presentados se procede a detallar algunas recomendaciones que servirá en la ejecución de trabajos futuros o similares.

- Para la obtención de mejores resultados se recomienda la utilización de hidróxido de sodio para la obtención de mejores resultados y realizar la comparativa con la presente investigación.
- La alimentación del sistema de generación de hidrogeno se debe considerar la tensión del relé principal en el cual se tienen la tensión de la batería
- Para las pruebas de ruta se recomienda la utilización de un ciclo de conducción en el cual se considere un ciclo de acuerdo con la geografía de la ciudad de Riobamba.
- En el registro de los datos con la balanza se debe considerar la calibración o enceramiento incluido la bomba de modo que solo se registre el peso del combustible consumido en el caso de la utilización para el Banco dinamométrico considerar además registro con el conector ELM327 para verificar los valores del sensor CKP y correlacionar con los valores del reporte de la prueba del banco dinamométrico.
- Antes de iniciar la medición de emisiones considerar un correcto calentamiento del analizador de gases y de la misma manera mantener una conexión sincronizada con el conector ELM 327.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AEADE** *Reporte del índice de ventas Enero- octubre 2022*. [en línea]. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.aeade.net/>.
2. **AUTOCRASH**. “¿Qué son las normas euro y por qué evolucionan?”. *Normas euro* [en línea], Edición 54, 2022 pp. 1-10. [Consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.revistaautocrash.com/que-son-las-normas-euro-y-por-que-evolucionan/>.
3. **AUTOCRASH**. Normas euro. Edición 54 [en línea], [Consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.revistaautocrash.com/que-son-las-normas-euro-y-por-que-evolucionan/>.
4. **AUTOMOCION**. *Tecnologías para un futuro brillante de los motores de combustión y los cambios manuales – Automoción* [blog]. España, 2018. pp. 1-2. [Consulta: 9 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/216273-10-tecnologias-para-futuro-brillante-de-motores-de-combustion-y-cambios-manuales.html>.
5. **ACTUALIDADMOTOR**. *Técnica Downsizing*. [blog]. [Consulta: 20 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.actualidadmotor.com/que-es-el-downsizing-el-milagro-de-los-motores-pequenos-l/>.
6. **BONNEAU & SOUCHET**. *Internal Combustion Engine Bearings Lubrication in Hydrodynamic Bearings* [en línea]. (1st ed.). Wiley. 1997. [Consulta: 9 de noviembre de 2022]. ISBN 9781119007999. Disponible en: www.perlego.com/book/996149/internal-combustion-engine-bearings-lubrication-in-hydrodynamic-bearings-pdf.
7. **CAIZA, L**. Instalación de un Generador de Hidrógeno en un Motor de Combustión Interna para reducir la Contaminación (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Tecnológica Equinoccial, Carrera de Ingeniería Automotriz. (Quito-Ecuador). 2015. pp. 4-15. [Consulta: 12 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14045>
8. **CHAMORRO RUANO, Richard Danilo**. Instalación de una celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina marca Ford modelo

Ecosport Freestyle 2.0l para mejorar su eficiencia (Trabajo de titulación). [en línea] ESPE, Departamento de ciencias de la energía y mecánica. (Latacunga – Ecuador). 2017. pp. 41-50. [Consulta: 22 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/24472>.

9. CREDDIVEHICULOS. Great Wall M4. [blog].2018. [Consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://credivehiculos.com/great-wall-m4/>.

10. CRUZ CANTOS, José Julián, & ALOMALIZA CRUZ, Christian Ricardo. Análisis del consumo y factores de emisiones reales generados por vehículos livianos a gasolina bajo un ciclo de conducción urbano de la ciudad de Riobamba mediante pruebas dinámicas con almacenamiento de datos en la nube (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. (Riobamba- Ecuador).2020. pp. 9-11. [Consulta: 9 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15294>.

11. Estadística en Investigación. *Distribución estadística t de Student* [en línea].2020. [Consulta: 8 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://estadisticaeninvestigacion.wordpress.com/distribucion-t-de-student/>.

12. GUTAREVYCH, Y; et al.” Intensification of the combustion process in a gasoline engine by adding a hydrogen-containing gas” *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea], 2018, vol. 43, no. 33, [Consulta: 10 de noviembre de 2022]. ISSN 0360-3199. DOI 10.1016/J.IJHYDENE.2018.06.124. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319918319967#:~:text=The%20fuel%20consumption%20decreases%20adding,charge%20of%20a%20gasolinepowered%20engine.&text=The%20maximum%20temperature%20of%20the,with%20a%20hydrogen%20containing%20gas.&text=The%20using%20of%20HHO%20in,CmHn%20pollution%20in%20the%20exhaust>.

13. HATAMI, M., HASANPOUR, M. & JING, D. “Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines”. *Part I: Nano-fuels. Journal of Molecular Liquids* [en línea], 2020, (China) vol. (318), pp. 1-4. [Consulta: 10 de noviembre de 2022]. ISSN 0167-7322. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732220340320>.

14. **INEC.** *Información Estadística del Transporte* [blog]. [Consulta: 22 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>.
15. **JAVERIANA.** *La influencia de la innovación en las tendencias de consumo en el mercado automotriz* [blog], [sin fecha]. [Consulta: 5 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/58114>.
16. **JIMÉNEZ, L. y MARÍN, E.** Diseño e implementación de una celda generadora de hidrógeno en un motor de combustión interna en la Ciudad de Bogotá (Trabajo de titulación). [en línea]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniería Mecánica. (Bogotá – Colombia).2021. [Consulta: 10 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28510>.
17. **JUMA YAR, D.A. y MARTÍNEZ ANANGONÓ, H.W.** Diseño e instalación de un sistema de alimentación gasolina-HHO en el motor de combustión interna del vehículo monoplaza tipo Buggy del Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE extensión Latacunga (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de la Fuerzas Armadas, Carrera de Ingeniería Automotriz, (Latacunga-Ecuador).2015. [Consulta: 11 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/10023>.
18. **PALOMO PALOMO, K.S. & PILATAXI YUNGAN, E.V.,** Diseño y construcción de un sistema de medición de consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del laboratorio de motores diesel-gasolina. [en línea](Trabajo de Titulación) ESPE, Latacunga.2012. pp. 34-36. [Consulta: 2 de febrero de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8105>.
19. **PAYRI GONZÁLEZ, F. y DESANTES FERNÁNDEZ.** *Motores de Combustión Interna Alternativos* [en línea]. Colección Académica, Editorial UPV, 2011. [Consulta: 24 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/70998>.
20. **PELAEZ, M.R. & ESPINOZA, J.L.** “Energías renovables en el Ecuador”. *Situación actual, tendencias y perspectivas*, (Cuenca) pp. 159-162.
21. **PULKRABEK.** *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* [en línea]. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2004. [Consulta: 24 de octubre de 2022]. Disponible en: <http://library.lol/main/FAEFDB5BFF0A4C48FFDB7DDD88ADEA16>

- 22. QUIROZ LEÓNIDAS.** Análisis de la incidencia de aditivos de fracción líquida en combustibles en el performance de motores de combustión interna MEC – MEP.[en línea], Universidad de las Fuerzas armadas, Carrera de Ingeniería Automotriz ,(Latacunga-Ecuador).2021 pp. 20-23 [Consulta: 11 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/26126>.
- 23. QUIZHPILEMA ACERO, Luis Armando.** Análisis comparativo del consumo de combustible (gasolina) en distintas marcas de vehículos con similar cilindraje (Trabajo de titulación) [en línea], ESPOCH, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. (Riobamba – Ecuador).2021 [Consulta: 9 de enero de 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16055>.
- 24. RECALDE ROJAS, Mauricio Norberto, & REVELO ARGOTI, Romel.** Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240 (Maestría). [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. (Quito – Ecuador). 2015. pp. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11925>.
- 25. NATIONALGEOGRAFIC.** *El reto de producir un hidrógeno aún más verde* [blog]. España.2017. [Consulta: 13 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/reto-producir-hidrogeno-aun-mas-verde-16448>
- 26. RECALDE ROJAS, Mauricio Norberto, & REVELO ARGOTI, Romel.** Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240 (Maestría). [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. (Quito – Ecuador). 2015. pp. [Consulta: 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11925>.
- 27. RINCONEDUCATIVO.** *Cómo obtener hidrógeno- Rincón educativo. Electricidad y Hidrogeno* [blog].2020. [Consulta: 10 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/como-obtener-hidrogeno/>.
- 28. ROCÍÓ, M. del, SALAZAR, S., VLADIMIR, H., CHILUIZA, P., ENRIQUE, J. & MORENO, U.** “Análisis vial de la infraestructura logística en la Ciudad de Riobamba”. Conciencia Digital [en línea], vol. 3, no. 3, [Consulta: 13 de noviembre de 2022]. ISSN 2600-

5859. DOI 10.33262/concienciadigital. v3i3.1317. Disponible en: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1317>.

29. ROCHA, J; et al. “Incidencia del uso de gasolina extra y mezcla al 5 % con etanol anhidro en los microfiltros de los inyectores multipunto”. *Enfoque UTE* [en línea], 2019 vol. (10), no. (2), [Consulta: 11 de noviembre de 2022]. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/ENFOQUEUTE.V10N2.430. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000200028&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

30. SUAREZ BENAVIDES, Willian Omar. Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para los motores Kia, en el 3ero de bachillerato de la institución educativo particular “LATINOAMERICANO” en el sector de Lumbisi, año lectivo 2017-2018 (Trabajo de Titulación). [en línea] Universidad Central del Ecuador. (Quito – Ecuador). 2018. pp. 17-20. [Consulta: 12 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17319>.

31. TITO GUAMAN, Jonathan Bladimir. Implementación de un generador de hidrógeno de un sistema dual fuel hidrógeno / gasolina de un vehículo corsa Wind (Trabajo de titulación). [en línea] Instituto Tecnológico Superior nueva vida. Tecnología en Mecánica Automotriz. (Quito – Ecuador). 2022 [Consulta: 12 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/xmlui/handle/123456789/245>.

32. UIDE. *Normativa que rige límites permitidos de emisiones contaminantes es obsoleta* [blog]. [Consulta: 22 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.uide.edu.ec/normativa-que-rige-limites-permitidos-de-emisiones-contaminantes-es-obsoleta/>.

33. ZECEÑA NAVAS, D. Diseño y fabricación de un electrolizador para su aplicación en la obtención de hidrógeno como combustible (Trabajo de titulación) [en línea]. Centroamericano SIIDCA-CSUCA, Ingeniería Mecánica S. 2020. [Consulta: 10 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC15507>

ANEXOS

ANEXO A: NTE INEN 2204:2002



**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 2204
Segunda revisión
2017-01

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

**ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. EMISSIONS PERMITTED LEVELS
PRODUCED BY ROAD MOVABLE SOURCES USING GASOLINE**

4. REQUISITOS

4.1 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina.
Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la Tabla 1.

TABLA 1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Año modelo	% CO ^a		ppm HC ^a	
	0 - 1500 ^b	1500 - 3000 ^b	0 - 1500 ^b	1500 - 3000 ^b
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

^a Volumen ^b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

4.2 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclos FTP-75 (prueba dinámica)

Toda fuente móvil que emplea gasolina no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (THC), hidrocarburos diferentes al metano (NMHC), óxidos de nitrógeno (NOx), en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 2.

TABLA 2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) (ciclos americanos FTP-75, g/mi)

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años ^a			
	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi
Vehículos de pasajeros	3,4	0,41	0,25	0,4	4,2	-	0,31	0,6
LLDT, LVW < 3750 lbs	3,4	-	0,25	0,4	4,2	0,80	0,31	0,6
LLDT, LVW > 3750 lbs	4,4	-	0,32	0,7	5,5	0,80	0,40	0,97
HLDT, ALVW < 5750 lbs	4,4	0,32	-	0,7	6,4	0,80	0,46	0,98
HLDT, ALVW > 5750 lbs	5,0	0,39	-	1,1	7,3	0,80	0,56	1,53

^a Vida útil 120,000 millas/11 años para todos los estándares HLDT, THC y LDT.

Abreviaturas:

PBV Peso bruto vehicular
 LVW Peso del vehículo cargado (tara + 300 lbs)
 ALVW LVW ajustado (promedio numérico de la tara y el PBV)
 LDT Camión ligero
 LLDT Camión liviano ligero (debajo de 6000 lbs PBV)
 HLDT Camión ligero pesado (sobre 6000 lbs PBV)

4.3 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. (prueba dinámica)

Toda fuente móvil con motor de gasolina no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 3.

TABLA 3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) (Directiva de la UE 98/69/CE)

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR) kg	CO g/km	HC g/km	HC + NOx g/km	NOx	Ciclo de prueba
M ^a	-	Todas	2,3	0,2	-	0,15	ECE + EUDC (también conocido como MVEG-A)
N1 ^b	I	PR ≤ 1 305	2,3	0,2	-	0,15	
	II	1 350 < PR ≤ 1 760	4,17	0,25	-	0,18	
	III	1 760 < PR	5,22	0,29	-	0,21	
^a Salvo los vehículos cuyo peso máximo sobrepase 2500 kg. ^b Y los vehículos de la categoría M que sobrepasen 2500 Kg.							

5. MÉTODOS DE ENSAYO

Para la determinación de la concentración de emisiones del tubo de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí, seguir el procedimiento descrito en NTE INEN 2203.

ANEXO B: BANCO DINAMOMÉTRICO SN HHO

Tiempo [s]	Velocidad [km/h]	RPM	Torque [N.m]	Potencia [KW]	consumo [gr]	Consumo [gr/KWh]
0,10	49,64	3025	56,73	17,97	880,00	160,89
0,29	50,06	3050	57,43	18,34	879,78	158,95
0,46	50,47	3075	57,99	18,67	879,31	157,48
0,64	50,88	3100	58,33	18,94	876,38	157,03
0,82	51,29	3125	58,41	19,12	873,55	157,25
0,99	51,70	3150	58,29	19,23	870,83	158,00
1,16	52,11	3175	57,98	19,28	868,21	159,27
1,34	52,52	3200	57,68	19,33	865,69	160,51
1,52	52,93	3225	57,46	19,40	863,27	161,50
1,69	53,34	3250	57,32	19,51	860,93	162,27
1,87	53,75	3275	57,32	19,66	858,69	162,63
2,05	54,16	3300	57,51	19,87	856,54	162,43
2,23	54,57	3325	57,86	20,15	854,47	161,77
2,40	54,98	3350	58,40	20,49	852,49	160,58
2,58	55,39	3375	59,09	20,88	850,58	159,01
2,75	55,80	3400	59,93	21,34	848,76	157,04
2,92	56,21	3425	60,88	21,83	847,01	154,87
3,09	56,62	3450	61,82	22,34	845,33	152,74
3,25	57,03	3475	62,72	22,83	843,72	150,80
3,41	57,44	3500	63,62	23,32	842,18	148,88
3,57	57,85	3525	64,48	23,80	840,71	147,10
3,73	58,26	3550	65,23	24,25	839,30	145,62
3,88	58,67	3575	65,80	24,63	837,95	144,54
4,04	59,08	3600	66,16	24,94	836,66	143,92
4,19	59,49	3625	66,36	25,19	835,43	143,67
4,35	59,90	3650	66,44	25,39	834,25	143,65
4,50	60,31	3675	66,44	25,57	833,13	143,81
4,65	60,72	3700	66,41	25,73	832,05	144,03
4,80	61,14	3725	66,37	25,89	831,03	144,24
4,96	61,54	3750	66,29	26,03	830,05	144,55
5,11	61,95	3775	66,18	26,16	829,11	144,92
5,27	62,36	3800	66,09	26,30	828,22	145,25
5,42	62,77	3825	66,03	26,45	827,37	145,49
5,58	63,19	3850	66,04	26,63	826,56	145,58
5,73	63,59	3875	66,19	26,86	825,79	145,36
5,89	64,01	3900	66,47	27,15	825,05	144,86
6,04	64,42	3925	66,90	27,50	824,35	144,01
6,19	64,83	3950	67,44	27,90	823,67	142,95
6,34	65,24	3975	68,09	28,34	823,03	141,68
6,49	65,64	4000	68,84	28,84	822,42	140,21
6,63	66,06	4025	69,65	29,36	821,83	138,65
6,78	66,47	4050	70,52	29,91	821,27	137,03
6,92	66,88	4075	71,39	30,47	820,74	135,42
7,07	67,29	4100	72,26	31,02	820,23	133,86
7,21	67,70	4125	73,08	31,57	819,73	132,41
7,35	68,11	4150	73,80	32,07	819,26	131,19
7,48	68,52	4175	74,32	32,50	818,81	130,31
7,62	68,93	4200	74,58	32,80	818,37	129,92
7,76	69,34	4225	74,64	33,02	817,95	129,87

7,90	69,75	4250	74,53	33,17	817,54	130,11
8,03	70,16	4275	74,35	33,28	817,15	130,48
8,17	70,57	4300	74,16	33,39	816,77	130,85
8,31	70,98	4325	73,97	33,50	816,40	131,24
8,44	71,39	4350	73,84	33,64	816,04	131,50
8,58	71,80	4375	73,69	33,76	815,69	131,81
8,72	72,21	4400	73,46	33,85	815,34	132,28
8,86	72,62	4425	73,21	33,92	815,01	132,77
9,00	73,03	4450	72,85	33,95	814,67	133,46
9,14	73,44	4475	72,54	33,99	814,35	134,09
9,28	73,85	4500	72,15	34,00	814,02	134,84
9,42	74,26	4525	71,80	34,02	813,70	135,55
9,56	74,67	4550	71,42	34,03	813,39	136,31
9,70	75,09	4575	71,02	34,02	813,07	137,12
9,85	75,49	4600	70,62	34,02	812,75	137,92
9,99	75,90	4625	70,21	34,00	812,44	138,77
10,14	76,31	4650	69,81	33,99	812,12	139,61
10,28	76,72	4675	69,40	33,97	811,80	140,47
10,43	77,14	4700	68,98	33,96	811,48	141,37
10,58	77,54	4725	68,56	33,93	811,16	142,29
10,73	77,96	4750	68,16	33,90	810,83	143,17
10,88	78,37	4775	67,72	33,86	810,50	144,15
11,03	78,78	4800	67,32	33,84	810,17	145,04
11,18	79,19	4825	66,94	33,82	809,83	145,92
11,33	79,59	4850	66,58	33,81	809,49	146,75
11,49	80,01	4875	66,21	33,80	809,14	147,61
11,64	80,42	4900	65,82	33,77	808,78	148,53
11,80	80,83	4925	65,42	33,74	808,42	149,50
11,95	81,24	4950	65,01	33,70	808,05	150,49
12,11	81,65	4975	64,69	33,70	807,68	151,28
12,26	82,06	5000	64,47	33,75	807,30	151,86
12,42	82,47	5025	64,37	33,87	806,91	152,16
12,58	82,88	5050	64,29	34,00	806,52	152,39
12,74	83,29	5075	64,12	34,07	806,12	152,87
12,90	83,70	5100	63,84	34,10	805,71	153,57
13,06	84,11	5125	63,47	34,07	805,29	154,53
13,22	84,52	5150	63,05	34,00	804,87	155,63
13,38	84,93	5175	62,67	33,96	804,44	156,65
13,54	85,34	5200	62,33	33,94	804,00	157,55
13,71	85,75	5225	62,02	33,94	803,56	158,40
13,87	86,16	5250	61,78	33,96	803,11	159,10
14,03	86,57	5275	61,48	33,96	802,66	159,94
14,20	86,98	5300	61,13	33,93	802,19	160,93
14,37	87,39	5325	60,63	33,81	801,73	162,31
14,54	87,80	5350	60,01	33,62	801,25	164,05
14,71	88,21	5375	59,32	33,39	800,78	166,04
14,88	88,62	5400	58,69	33,19	800,29	167,90
15,06	89,03	5425	58,18	33,06	799,81	169,44
15,23	89,44	5450	57,70	32,93	799,32	170,95
15,41	89,85	5475	57,11	32,74	798,82	172,77
15,59	90,26	5500	56,41	32,49	798,33	174,99
15,77	90,67	5525	55,72	32,24	797,83	177,27
15,95	91,09	5550	55,07	32,01	797,33	179,45

16,14	91,49	5575	54,48	31,81	796,83	181,45
16,32	91,91	5600	53,89	31,60	796,32	183,54
16,51	92,31	5625	53,16	31,32	795,82	186,13
16,71	92,72	5650	52,27	30,93	795,32	189,38
16,91	93,14	5675	51,13	30,39	794,83	193,69
17,11	93,54	5700	49,80	29,73	794,33	198,97
17,31	93,96	5725	48,44	29,04	793,84	204,66
17,52	94,36	5750	47,14	28,39	793,35	210,38
17,74	94,78	5775	45,89	27,75	792,87	216,19
17,97	95,19	5800	44,67	27,13	792,40	222,23
18,20	95,60	5825	43,44	26,50	791,93	228,60
18,44	96,01	5850	42,24	25,88	791,47	235,20
18,68	96,42	5875	41,14	25,31	791,03	241,57
18,93	96,83	5900	40,19	24,84	790,59	247,38
19,19	97,24	5925	39,32	24,40	790,16	252,94
19,45	97,65	5950	38,33	23,88	786,14	260,47
19,71	98,06	5975	37,18	23,27	785,48	268,66
19,99	98,47	6000	36,02	22,63	785,35	277,39
20,28	98,88	6025	34,88	22,01	785,25	286,47
20,58	99,29	6050	34,00	21,54	785,00	293,91

ANEXO C: BANCO DINAMOMÉTRICO HHO

Tiempo [s]	Velocidad [km/h]	RPM	Torque [N.m]	Potencia [KW]	consumo (gr)	Consumo gr/KWh
0,07	51,04	3000	56,16	17,58	880,00	160,89
0,28	51,47	3025	62,41	19,69	880,00	158,95
0,45	51,90	3050	65,36	20,79	879,11	157,48
0,62	52,33	3075	67,11	21,52	877,40	157,03
0,78	52,75	3100	68,16	22,04	874,76	157,25
0,95	53,18	3125	68,73	22,40	872,18	158,00
1,10	53,61	3150	68,94	22,65	869,66	159,27
1,27	54,03	3175	69,03	22,86	867,21	160,51
1,42	54,46	3200	69,29	23,12	864,82	161,50
1,58	54,89	3225	69,72	23,45	862,49	162,27
1,74	55,31	3250	70,33	23,84	860,21	162,63
1,90	55,74	3275	71,14	24,30	858,00	162,43
2,05	56,17	3300	72,05	24,80	855,84	161,77
2,20	56,59	3325	73,02	25,32	853,74	160,58
2,35	57,02	3350	74,01	25,86	851,70	159,01
2,50	57,45	3375	75,00	26,40	849,71	157,04
2,64	57,88	3400	75,97	26,94	847,78	154,87
2,79	58,31	3425	76,81	27,45	845,90	152,74
2,93	58,73	3450	77,59	27,93	844,07	150,80
3,07	59,16	3475	78,20	28,35	842,30	148,88
3,21	59,59	3500	78,62	28,71	840,58	147,10
3,36	60,01	3525	78,89	29,02	838,90	145,62
3,49	60,44	3550	78,98	29,26	837,28	144,54
3,63	60,87	3575	78,96	29,46	835,70	143,92
3,77	61,29	3600	78,89	29,63	834,17	143,67
3,91	61,72	3625	78,74	29,79	832,69	143,65
4,05	62,15	3650	78,61	29,94	831,25	143,81
4,19	62,57	3675	78,52	30,11	829,86	144,03
4,33	63,00	3700	78,50	30,31	828,51	144,24
4,47	63,43	3725	78,62	30,56	827,21	144,55
4,61	63,86	3750	78,90	30,88	825,94	144,92
4,75	64,29	3775	79,32	31,25	824,72	145,25
4,89	64,71	3800	79,94	31,70	823,54	145,49
5,03	65,14	3825	80,66	32,20	822,40	145,58
5,16	65,57	3850	81,41	32,71	821,30	145,36
5,30	65,99	3875	82,09	33,20	820,24	144,86
5,43	66,42	3900	82,83	33,71	819,21	144,01
5,56	66,85	3925	83,56	34,23	818,22	142,95
5,70	67,27	3950	84,34	34,77	817,27	141,68
5,82	67,70	3975	85,16	35,33	816,35	140,21
5,95	68,13	4000	85,94	35,89	815,47	138,65
6,08	68,55	4025	86,63	36,39	814,61	137,03
6,21	68,98	4050	87,16	36,85	813,79	135,42
6,33	69,41	4075	87,51	37,23	813,01	133,86
6,46	69,83	4100	87,67	37,52	812,25	132,41
6,59	70,27	4125	87,63	37,74	811,52	131,19
6,71	70,69	4150	87,47	37,90	810,82	130,31
6,84	71,12	4175	87,21	38,01	810,15	129,92

6,96	71,55	4200	86,95	38,13	809,51	129,87
7,09	71,97	4225	86,72	38,25	808,89	130,11
7,22	72,40	4250	86,48	38,37	808,30	130,48
7,35	72,83	4275	86,17	38,46	807,74	130,85
7,47	73,25	4300	85,80	38,52	807,20	131,24
7,60	73,68	4325	85,37	38,55	806,68	131,50
7,73	74,11	4350	84,95	38,58	806,18	131,81
7,86	74,53	4375	84,51	38,60	805,71	132,28
7,99	74,96	4400	84,06	38,62	805,25	132,77
8,12	75,39	4425	83,59	38,62	804,82	133,46
8,26	75,81	4450	83,08	38,61	804,41	134,09
8,39	76,24	4475	82,54	38,57	804,01	134,84
8,52	76,67	4500	82,02	38,54	803,63	135,55
8,66	77,10	4525	81,51	38,52	803,27	136,31
8,79	77,53	4550	81,04	38,50	802,93	137,12
8,93	77,95	4575	80,62	38,52	802,60	137,92
9,06	78,38	4600	80,26	38,55	802,28	138,77
9,20	78,81	4625	79,86	38,57	801,98	139,61
9,34	79,23	4650	79,44	38,58	801,69	140,47
9,48	79,66	4675	78,96	38,55	801,42	141,37
9,62	80,09	4700	78,45	38,50	801,15	142,29
9,76	80,51	4725	77,99	38,49	800,90	143,17
9,90	80,94	4750	77,74	38,57	800,65	144,15
10,04	81,37	4775	77,73	38,77	800,42	145,04
10,19	81,79	4800	77,80	39,00	800,19	145,92
10,33	82,22	4825	77,91	39,26	799,97	146,75
10,47	82,65	4850	77,85	39,44	799,75	147,61
10,61	83,08	4875	77,70	39,56	799,55	148,53
10,75	83,51	4900	77,39	39,61	799,34	149,50
10,89	83,93	4925	77,09	39,66	799,15	150,49
11,04	84,36	4950	76,77	39,69	798,95	151,28
11,18	84,79	4975	76,48	39,74	798,76	151,86
11,32	85,21	5000	76,22	39,81	798,57	152,16
11,47	85,64	5025	75,93	39,85	798,38	152,39
11,61	86,07	5050	75,57	39,86	798,19	152,87
11,76	86,49	5075	75,21	39,87	798,01	153,57
11,91	86,92	5100	74,74	39,81	797,82	154,53
12,05	87,35	5125	74,18	39,72	797,63	155,63
12,20	87,78	5150	73,55	39,57	797,43	156,65
12,36	88,20	5175	72,84	39,38	797,24	157,55
12,51	88,63	5200	72,09	39,16	797,04	158,40
12,66	89,06	5225	71,37	38,96	796,83	159,10
12,81	89,48	5262,5	70,60	38,72	796,62	159,94
13,05	90,13	5275	69,34	38,30	796,40	160,93
13,13	90,34	5300	68,79	38,09	796,18	162,31
13,29	90,77	5325	67,72	37,67	795,95	164,05
13,46	91,19	5350	66,54	37,19	795,70	166,04
13,62	91,62	5375	65,33	36,68	795,45	167,90
13,79	92,05	5400	64,18	36,21	795,20	169,44
13,96	92,48	5425	63,19	35,81	794,92	170,95
14,14	92,90	5450	62,27	35,46	794,64	172,77
14,32	93,33	5475	61,30	35,06	794,35	174,99
14,50	93,76	5500	60,20	34,59	794,04	177,27

14,68	94,18	5525	58,96	34,03	793,72	179,45
14,87	94,61	5550	57,72	33,47	793,39	181,45
15,07	95,04	5575	56,46	32,89	793,03	183,54
15,26	95,46	5600	55,22	32,31	792,67	186,13
15,47	95,89	5625	53,98	31,73	792,29	189,38
15,67	96,32	5650	52,77	31,14	791,89	193,69
15,88	96,75	5675	51,58	30,58	791,47	198,97
16,10	97,18	5700	50,46	30,05	791,03	204,66
16,32	97,60	5725	49,28	29,48	790,58	210,38
16,55	98,03	5750	48,07	28,88	790,10	216,19
16,78	98,46	5775	46,64	28,14	789,60	222,23
17,02	98,88	5800	45,01	27,28	789,08	228,60
17,27	99,31	5825	43,37	26,40	788,54	235,20
17,53	99,74	5850	41,87	25,59	787,98	241,57
17,80	100,16	5875	40,55	24,88	787,39	247,38
18,07	100,59	5900	39,32	24,24	786,78	252,94
18,91	99,52	5925	37,51	23,33	786,14	260,47
19,19	99,93	5950	36,23	22,62	785,48	268,66
19,99	98,47	6000	36,02	22,63	785,35	277,39
20,28	98,88	6025	34,88	22,01	785,25	286,47
20,58	99,29	6050	34,00	21,54	785,00	293,91

ANEXO D: PARÁMETROS DINÁMICOS

Aceleración:

$$a = \frac{-v_{i+2} + 8v_{i+1} - 8v_{i-1} + v_{i-2}}{12 \cdot \Delta t} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

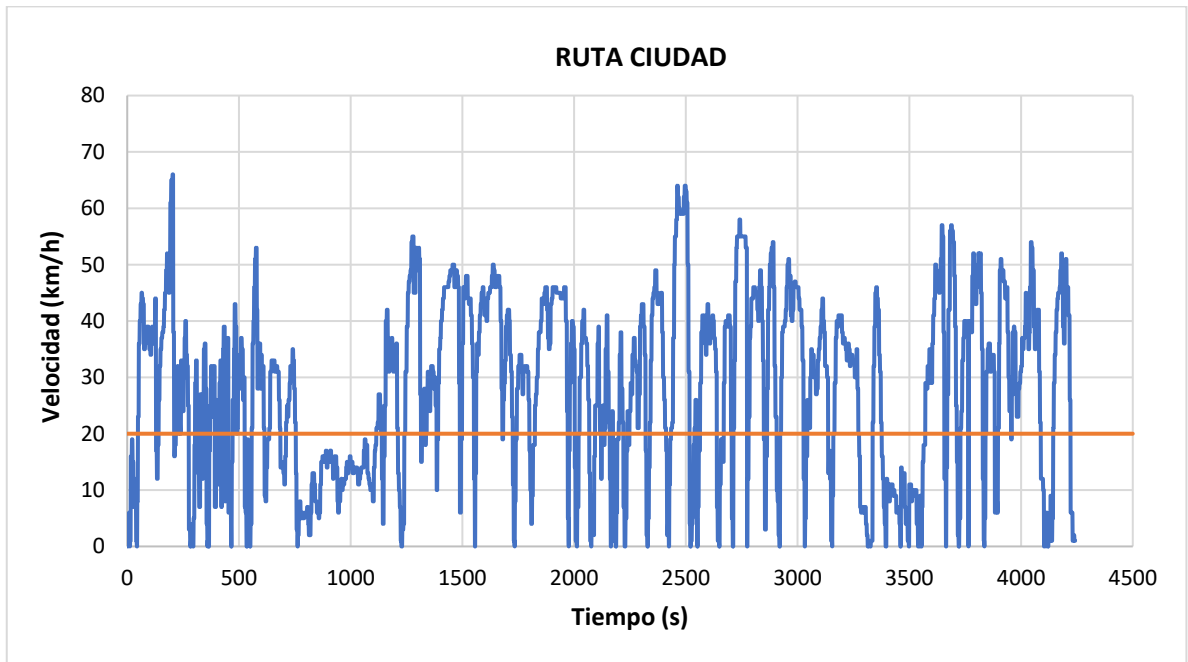
Distancia:

$$d = \frac{v_0 - v_f}{t} [m]$$

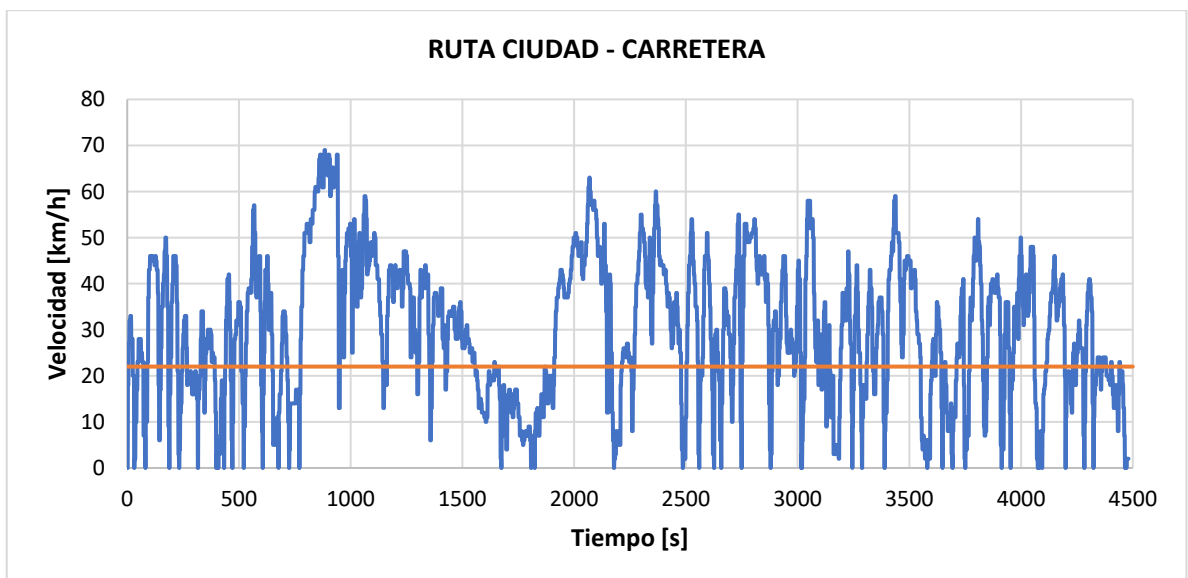
Tiempos en Ralentí:

$$\text{Cuando } V = 0 [RPM]$$

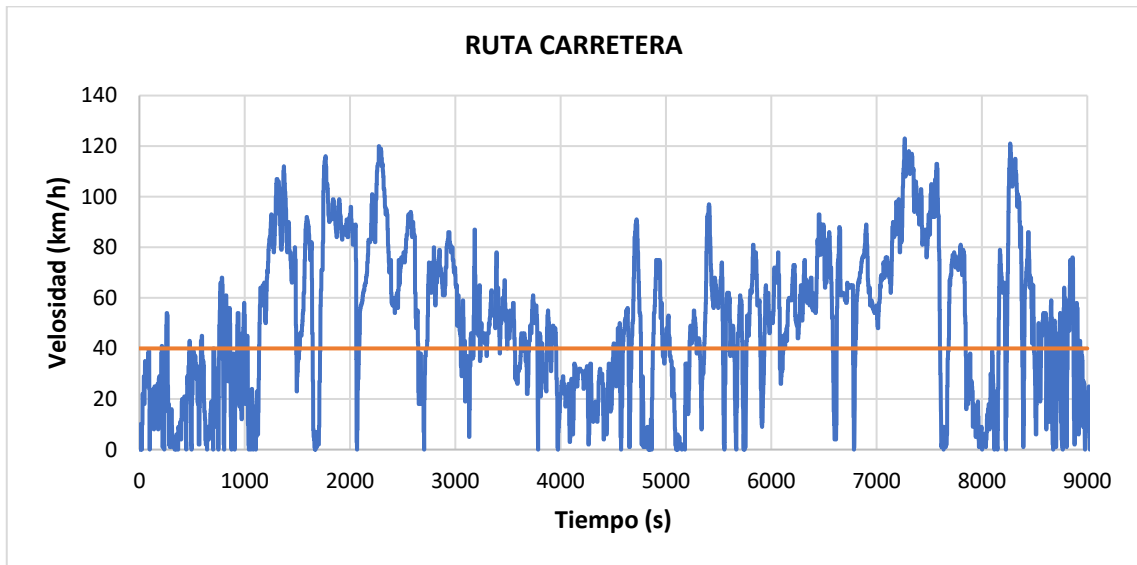
ANEXO E: CICLO CONDUCCIÓN RIOBAMBA



ANEXO F: CICLO CONDUCCIÓN RIOBAMBA- GUANO



ANEXO G: CICLO CONDUCCIÓN RIOBAMBA- AMBATO



ANEXO H: CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIONES

En el presente anexo se detalla los cálculos realizados para la obtención del factor de emisiones para los NO_x del vehículo Great Wall M4 2017 para lo cual se considerará los siguientes parámetros bajo las 2 condiciones de operación como referencia se tomo los datos obtenidos con el vehículo operando de forma convencional.

Datos:

$$\text{Densidad combustible } \delta_{Fuel} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] = 735,8$$

$$\text{Consumo de combustible } Cc \left[\frac{Kg}{Km} \right] = 0,0946$$

$$\% NO_x = 0,00358$$

$$\% CO_2 = 16,67$$

$$\% CO = 0,001$$

$$\% HC = 0,00923$$

Peso molecular Equivalente $CH_{2,25}$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{km} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel*FC}}{0.01425}$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{km} = \frac{30 \frac{0,00358}{16,67}}{\frac{0,001}{16,67} + \left(3 \frac{0,00923}{16,67}\right) + 1} * \frac{0,0946}{0,01425}$$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{km} = 0,043$$

Para el cálculo de los factores de Emisión del para los factores de Emisión del CO y HC se consideraron los datos detallados anteriormente

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{km} = \frac{28 \frac{0,001}{16,67}}{\frac{0,001}{16,67} + \left(3 \frac{0,00923}{16,67}\right) + 1} * \frac{0,0946}{0,01425} = 0,1011$$

$$EF_{HC} = \frac{g_{HC}}{km} = \frac{42 \frac{0,00923}{16,67}}{\frac{0,001}{16,67} + \left(3 \frac{0,00923}{16,67}\right) + 1} * \frac{0,0946}{0,01425} = 0,15$$

ANEXO I: FACTORES DE EMISIÓN DEBIDO A LA ADICIÓN DEL HHO

Debido a la adición de HHO como combustible adicional en el múltiple de admisión en el motor del vehículo 1,5 Grat wall 2017 se consideró el cálculo adicional se consideró las emisiones inofensivas como los factores de CO_2 y los O_2 en g/km

Factor de Emisión CO_2 :

$$EF'_{CO_2} = \frac{g_{CO_2}}{km} = \frac{(d*CO_2)g}{14,25(g)} * Cc\left(\frac{g}{km}\right)$$

Elemento	Reactantes	Productos	Ecuación
Carbono	1	$a + 3c + d$	(1)
Hidrógeno	y	$2b + 6c$	(2)
Oxígeno	0,42m	$a + b + 2d + f + 2g$	(3)
Nitrógeno	1,58m	$2e + f$	(4)

Partiendo de la tabla 9-2 se procede a despejar la variable m del sistema de ecuaciones

$$m = \frac{a + b + 2d + f + 2g}{0,42}$$

Donde las indicen a, b, d, f y g son conocidos

Factor de emisión para O_2 :

$$EF'_{O_2} = \frac{grO_2}{km} = \frac{(g * O_2)gr}{0,21m(O_2)gr} * Cc\left(\frac{gr}{km}\right)$$

$$EF'_{O_2} = \frac{grO_2}{km} = \frac{16 * \frac{\%O_2}{\%CO_2} (gr)}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3 \frac{\%HC}{\%CO_2} + 1} * Cc\left(\frac{kg}{km}\right)$$

ANEXO J: CONSUMO ELECTROLITO

CONSUMO ELECTROLITO			
Destino	Distancia (Km)	Consumo (mL)	consumo (gr)
Ciudad	11	24,69	24,65
Carretera	14	31,43	31,36
Ciudad - Carretera	60	134,69	134,41
Total	85	190,81	190,43
TOTAL	170	381,62	380,85

