



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión

Alvarez Molina, Stalyn Paul y Yacelga Cajas, José Antonio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

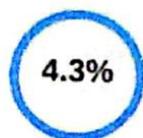
Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

10 de agosto del 2022

Latacunga



TESIS ALVAREZ YACELGA.docx
Scanned on: 20/5 August 11, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	490
Words with Minor Changes	38
Paraphrased Words	160
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

C. C: 0502509995



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión"** fue realizado por los señores **Alvarez Molina, Stalyn Paul y Yacelga Cajas, José Antonio**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de agosto de 2022

Ing. Quíroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

C. C: 0502509995



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Alvarez Molina, Stalyn Paul y Yacelga Cajas, José Antonio**, con cédula de ciudadanía n° **0503876633** y **1726724683** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de agosto de 2022

Alvarez Molina, Stalyn Paul

C.C.: 0503876633

Yacelga Cajas, José Antonio

C.C.: 1726724683



Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, Alvarez Molina, Stalyn Paul y Yacelga Cajas, José Antonio, con cédula de ciudadanía n° 0503876633 y 1726724683, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto de 2022

Alvarez Molina, Stalyn Paul

C.C.: 0503876633

Yacelga Cajas, José Antonio

C.C.: 1726724683

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de integración curricular en primer lugar a mis padres Luis Alvarez y Martha

Molina quienes, durante mi vida universitaria, me han ayudado con sus sabios consejos y apoyo incondicional cuando lo he necesitado, a mi hermana Paulina Alvarez por siempre estar ahí cuando lo necesitaba y guiarme por el camino del bien.

STALYN PAUL ALVAREZ MOLINA

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme salud a mí y a todos mis seres queridos, así como también darme fuerzas para superar todas las dificultades que han aparecido durante el transcurso de mi vida universitaria.

De igual forma agradezco profundamente a la Universidad de las fuerzas armadas ESPE, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de haber podido estudiar esta hermosa carrera, como no también agradecer a todos los docentes del departamento de energía y mecánica quienes nos han ayudado con nuestra formación tanto como profesionales como personas.

De manera muy especial agradezco al Ing. Leonidas Quiroz quien fue nuestro tutor de la unidad de integración curricular, y nos supo brindar su apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación.

STALYN PAUL ALVAREZ MOLINA

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de integración curricular a Dios y a mi familia, pilares fundamentales de mi vida, los cuales siempre me han apoyado y guiado, con sus enseñanzas y consejos los cuales me dieron la fuerza y motivación para culminar mi carrera universitaria.

A mi padre Jorge Yacelga, quien es mi mayor orgullo al ser la persona más sabia y talentosa que conozco, quien con su trabajo duro siempre me brindo una vida digna y feliz

A mi madre Aydeé Cajas quien con su cariño y compañía siempre me apoyo a sobrellevar los duros momentos, haciéndome una persona de bien, y motivándome a seguir adelante con mis metas.

A mi hermano Paul Moreno al ser quien siempre me cuido y protegió durante mi vida, ser la motivación a seguir trabajando duro y esforzarme por alcanzar mis metas.

A mi hermana Diana Moreno quien me educo, cuido y enseño el camino del bien, mostrándome la importancia del estudio, el trabajo duro, y la familia.

A mis hermanas Jaqueline y Verónica, quienes me cuidaron y ayudaron a fijar las metas que debía cumplir en mi vida, además de brindarme su apoyo incondicional y cariño.

A mis sobrinos Nicole, Maggie, Gabriel, Erick, Dominick, Dylan, Maura y Leonel por ser quienes me impulsan a seguir adelante cada día.

A mis abuelitos Avelino, Martha y Emperatriz, quienes me cuidan desde el cielo, que en vida supieron brindarme todo su cariño, afecto y enseñanzas.

JOSE ANTONIO YACELGA CAJAS

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme la vida, y mantenernos en salud a mí y a mi familia, brindarme la sabiduría y fortaleza para afrontar de la mejor manera mi vida universitaria.

A mis padres los cuales me apoyaron durante toda mi vida de manera desinteresada, brindándome siempre cariño y fortaleza.

A mis hermanos y sobrinos quienes fueron mi mayor apoyo durante los tiempos difíciles.

A todos mis compañeros con los cuales compartí mi vida universitaria, especialmente a mis amigos Carlos y Stalyn que compartimos vivencias, disfrutamos y nos apoyamos para sobrellevar de la mejor manera nuestra carrera.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga la cual nos acogió en sus aulas y brindó la oportunidad de desarrollarnos como los futuros profesionales del país.

A los docentes del departamento de energía y mecánica los cuales nos brindaron todos sus conocimientos respecto a las materias impartidas, además de motivarnos a mejorar como profesionales y dar nuestro mayor esfuerzo en el cumplimiento de las metas propuestas.

Al Ingeniero Leonidas Quiroz, tutor de la unidad de integración curricular, quien nos supo asesorar y apoyar durante el desarrollo de la presente investigación.

JOSE ANTONIO YACELGA CAJAS

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras.....	17
Resumen	20
Abstract.....	21
Capítulo I: Introducción.....	22
Antecedentes.....	22
Planteamiento del problema	23
Justificación e importancia	24
Objetivos	25

<i>Objetivo General</i>	25
<i>Objetivos específicos</i>	25
Variables de investigación	26
<i>Variables Dependiente</i>	26
<i>Variables Independientes</i>	26
Hipótesis.....	26
Capitulo II: Marco Teórico	27
Hidrógeno.....	27
<i>Propiedades</i>	27
<i>Tipos de hidrógeno</i>	29
<i>Combustible para motores de combustión</i>	31
<i>Ventajas y desventajas del hidrógeno</i>	31
La electrolisis	32
Sistema de generación de hidrógeno	32
Parámetros de desempeño	33
<i>Torque</i>	33
<i>Potencia</i>	33
<i>Consumo de combustible en carretera</i>	33
Consumo específico	34
Presión media efectiva.....	35

Sistema De Alimentación.....	36
<i>Sistema BI-FUEL</i>	36
<i>Sistema DUAL-FUEL</i>	36
Instrumentos De Medición	36
<i>Dinamómetro</i>	36
<i>Software DINOMAX</i>	37
<i>Interfaz OBD-II ELM 327</i>	37
<i>Aplicación Torque</i>	38
Prueba WLTC.....	39
Normativa SAE J1349.....	40
Capítulo III: Metodología De Desarrollo	42
Implementación del sistema de generación de hidrógeno	42
Características de los vehículos.....	43
<i>Características técnicas Kia Sportage R 2.0 GLS MT</i>	43
<i>Características técnicas Chevrolet D-Max 3.0 CRDI</i>	43
Protocolo para la prueba de torque y potencia.....	44
Protocolo para la prueba de consumo de combustible	49
Ensayo de torque y potencia.....	53
Ensayo de consumo de combustible.....	61
Capítulo IV: Resultados De La Investigación	68

Prueba De Torque Y Potencia.....	68
<i>Motor OTTO</i>	68
<i>Motor OTTO más hidrógeno</i>	71
<i>Motor Diésel</i>	73
<i>Motor Diésel más hidrógeno</i>	75
Pruebas de consumo de combustible	77
<i>Motor Otto</i>	78
<i>Motor Otto + Hidrógeno</i>	79
<i>Motor Diésel</i>	81
<i>Motor Diésel + hidrógeno</i>	82
Análisis de datos	84
<i>Torque y Potencia</i>	84
<i>Consumo de combustible</i>	94
Motor Otto.....	94
<i>Recuperación de la inversión.</i>	97
Motor diésel	98
<i>Recuperación de la inversión</i>	102
<i>Tiempo para recuperar la inversión</i>	102
<i>Consumo específico</i>	103
Motor Otto	103

Motor diésel	104
Capítulo V: Marco administrativo	106
Recursos	106
<i>Recursos humanos</i>	106
<i>Recursos tecnológicos</i>	106
<i>Recursos materiales</i>	107
Financiamiento	108
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	109
Conclusiones	109
Recomendaciones	111
Bibliografía	112
Anexos	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales propiedades del hidrógeno	27
Tabla 2 Propiedades comparativas de combustibles.....	28
Tabla 3 Tipos de hidrógeno	30
Tabla 4 Principales características de la interfaz ELM 327	38
Tabla 5 Parámetros atmosféricos para la prueba de torque y potencia según la SAE J1349	41
Tabla 6 Características técnicas Kia Sportage R 2.0 GLS MT	43
Tabla 7 Características técnicas Chevrolet D-Max 3.0 CRDI	44
Tabla 8 Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor OTTO	68
Tabla 9 Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor OTTO más hidrógeno	71
Tabla 10 Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor Diésel	74
Tabla 11 Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor Diésel más hidrógeno	76
Tabla 12 Resumen de datos del ensayo WLTC usando gasolina como única fuente de energía	78
Tabla 13 Resumen de datos del ensayo WLTC usando gasolina e hidrógeno como fuente de energía	79
Tabla 14 Resumen de datos del ensayo WLTC usando diésel como única fuente de energía	81
Tabla 15 Resumen de datos del ensayo WLTC usando diésel e hidrógeno como fuente de energía	82
Tabla 16 Resumen de los datos obtenidos en el ensayo WLTC para gasolina y gasolina e hidrógeno	94
Tabla 17 Resumen de los datos obtenidos en el ensayo WLTC para diésel y diésel e hidrógeno	98
Tabla 18 Tiempo necesario para recuperar la inversión del kit de hidrógeno	102
Tabla 19 Consumo específico motor Otto	103
Tabla 20 Consumo específico motor diésel	104
Tabla 21 Recursos humanos.....	106
Tabla 22 Recursos tecnológicos	107
Tabla 23 Recursos materiales	107

Tabla 24 <i>Gastos de la investigación</i>	108
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Consumo específico motor Otto en función del régimen de giro y la presión media efectiva.....</i>	34
Figura 2	<i>Consumo específico motor Otto en función del régimen de giro y la presión media efectiva.....</i>	35
Figura 3	<i>Interfaz ELM 327</i>	37
Figura 4	<i>Fase baja del ensayo WLTC para vehículos clase 1.....</i>	39
Figura 5	<i>Fase media del ensayo WLTC para vehículos clase 1.....</i>	40
Figura 6	<i>Diagrama de bloques de la implementación del sistema generador de hidrógeno</i>	42
Figura 7	<i>Protocolo general para la prueba en dinamómetro</i>	45
Figura 8	<i>Conectores A y B del protocolo para la prueba en dinamómetro</i>	46
Figura 9	<i>Conectores C y D del protocolo para la prueba en dinamómetro</i>	47
Figura 10	<i>Conector E del protocolo para la prueba en dinamómetro</i>	48
Figura 11	<i>Protocolo general de desarrollo del ensayo de la prueba de combustible.....</i>	49
Figura 12	<i>Conector de salida A.....</i>	50
Figura 13	<i>Conector de salida B.....</i>	51
Figura 14	<i>Conector de salida C.....</i>	51
Figura 15	<i>Conector de salida D</i>	52
Figura 16	<i>Conector de salida E.....</i>	52
Figura 17	<i>Condiciones atmosféricas a las que se realizara el ensayo de torque y potencia</i>	53
Figura 18	<i>Puesta a punto del vehículo de pruebas gasolina.....</i>	54
Figura 19	<i>Zona del dinamómetro en el taller ‘Dinámica Competición’.....</i>	55
Figura 20	<i>Montaje del vehículo gasolina en el dinamómetro</i>	55
Figura 21	<i>Anclaje posterior del vehículo diésel</i>	56
Figura 22	<i>Anclaje delantero del vehículo diésel</i>	56
Figura 23	<i>Posición de los ventiladores</i>	57

Figura 24 <i>Ingreso de datos de motor en el software DINOMAX</i>	58
Figura 25 <i>Ingreso de datos de tiempo en el software DINOMAX</i>	58
Figura 26 <i>Ingreso de datos del vehículo en el software DINOMAX</i>	59
Figura 27 <i>Ingreso de datos de combustible en el software DINOMAX</i>	59
Figura 28 <i>Ingreso de datos de inducción en el software DINOMAX</i>	60
Figura 29 <i>Pantalla del software DINOMAX para el registro de datos de torque y potencia</i>	60
Figura 30 <i>Pantalla de presentación de datos de Torque y Potencia en el software DINOMAX</i>	61
Figura 31 <i>Localización del puerto de conexión OBD-II en el vehículo Kia Sportage R</i>	62
Figura 32 <i>Apartado de selección del perfil del vehículo de la aplicación torque</i>	62
Figura 33 <i>Lista de PID a monitorizar durante el transcurso del ensayo de consumo de combustible</i>	63
Figura 34 <i>Apartado de inicio de registro de datos</i>	64
Figura 35 <i>Apartado de finalización del registro de datos</i>	65
Figura 36 <i>Exportación de los PID grabados durante el ensayo</i>	65
Figura 37 <i>Estructura del archivo .CSV generado</i>	66
Figura 38 <i>Ruta empleada en el desarrollo de los ensayos de consumo de combustible</i>	67
Figura 39 <i>Curvas de Torque y Potencia en Motor OTTO</i>	70
Figura 40 <i>Curvas de Torque y Potencia en Motor OTTO (Gasolina + Hidrógeno)</i>	73
Figura 41 <i>Curvas de Torque y Potencia en Motor Diésel (Diésel)</i>	75
Figura 42 <i>Curvas de Torque y Potencia en Motor Diésel (Diésel + Hidrógeno)</i>	77
Figura 43 <i>Ciclo WLTC obtenido usando gasolina como única fuente de energía</i>	79
Figura 44 <i>Ciclo WLTC obtenido usando gasolina e hidrógeno como fuente de energía</i>	80
Figura 45 <i>Ciclo WLTC obtenido usando diésel como única fuente de energía</i>	82
Figura 46 <i>Ciclo WLTC obtenido usando diésel e hidrógeno como fuente de energía</i>	84
Figura 47 <i>Comparación curvas de potencia del Motor OTTO normal y aplicado el hidrógeno</i>	85

Figura 48	<i>Comparación entre los picos de potencia máxima generadas por el motor OTTO</i>	86
Figura 49	<i>Comparación curvas de torque del Motor OTTO normal y aplicado el hidrógeno</i>	87
Figura 50	<i>Comparación entre los valores de par máximo generadas por el motor OTTO</i>	88
Figura 51	<i>Comparación curvas de potencia del Motor Diésel normal y aplicado el hidrógeno</i>	89
Figura 52	<i>Comparación entre los picos de potencia máximo generadas por el motor Diésel</i>	90
Figura 53	<i>Comparación curvas de torque del Motor Diésel normal y aplicado el hidrógeno</i>	91
Figura 54	<i>Comparación entre los valores de par máximo generadas por el Motor Diésel</i>	92
Figura 55	<i>Aumento porcentual del torque y potencia de los motores con la implementación de hidrógeno</i>	93
Figura 56	<i>Gráfica comparativa del consumo en función del tiempo transcurrido para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT</i>	95
Figura 57	<i>Consumo promedio de viaje usando gasolina y gasolina e hidrógeno</i>	96
Figura 58	<i>Gráfica comparativa del consumo en función del tiempo transcurrido para el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI</i>	99
Figura 59	<i>Consumo promedio de viaje usando diésel y diésel e hidrógeno</i>	100
Figura 60	<i>Consumo específico motor Otto</i>	103
Figura 61	<i>Consumo específico motor diésel</i>	105

Resumen

En el trabajo de integración curricular investigó la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido relacionados a consumo de combustible, torque y potencia, en motores de encendido provocado “MEP” y motores de encendido por compresión “MEC”; se desarrolló de ensayos de consumo de combustible fundamentados en ciclos de prueba de vehículos livianos armonizados WLTC “Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure” para vehículos clase 1 de cuatro o más neumáticos cuyo único fin es transportar personas mediante la monitorización de PID a través del puerto OBD-II con la interfaz ELM-327 a través de la aplicación torque lite, la cual permite grabar de datos configurados, obteniendo como resultados una disminución del consumo de combustible del 5,41% y 5,23% para motores gasolina y diésel respectivamente a través del uso de hidrógeno. Los ensayos de rendimiento de torque y potencia se consideró la normativa SAE J1349 referente a las condiciones atmosféricas en un dinamómetro de chasis de doble rodillo Dynamite 4400 2WD y el software de registro de datos del dinamómetro Dinomax, alcanzando un incremento de potencia neta de 3,59 % y 1,62 % del torque en el motor ciclo Otto, así también se registra un aumento de potencia en 1,22% y del torque en 1,48% para el motor ciclo diésel las dos máquinas térmicas alimentados con hidrógeno como combustible adicional para enriquecer la mezcla aire - combustible.

Palabras Clave: Hidrógeno, Bi-fuel, Dual-fuel, Par motor, Potencia del vehículo

Abstract

In the curricular integration work, the incidence of the BI-FUEL and DUAL-FUEL hydrogen injection system was investigated in the performance parameters of the ignition internal combustion engines related to fuel consumption, torque and power engines, in spark ignition engines "MEP" and compression ignition engines "MEC". Fuel consumption tests based on WLTC "Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure" test cycles were developed for class 1 vehicles with four or more tires whose sole purpose is to transport people by monitoring PID through the OBD-II port with the ELM-327 interface through the torque lite application, which allows recording configured data, resulting in a decrease in fuel consumption of 5.41% and 5.23% for gasoline and diesel engines, respectively, through the use of hydrogen. Regarding the torque and power performance tests, the SAE J1349 standard with respect of atmospheric conditions in a Dynamite 4400 2WD double roller chassis dynamometer and the Dinomax dynamometer data recording software, was considered, reaching an increase of net power of 3.59% and 1.62% of the torque in the otto cycle engine. Into the bargain, an increase in power of 1.22% and torque of 1.48% was registered for the diesel cycle engine of two thermal machines fed with hydrogen as additional fuel to enrich the air-fuel mixture.

Key Words: Hydrogen, Bi-fuel, Bi-fuel, Dual-fuel, Torque, Vehicule Power

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El elemento hidrógeno es en su mayoría el elemento más abundante del universo llegando a constituir un 70% de la masa del mismo, sin embargo, en la Tierra no existe lugar alguno donde encontrarlo en estado puro (Chang, 2007).

El hidrógeno producido por medio de la electrolisis del agua es conocido como hidrógeno verde, el cual es uno de los tipos utilizados por la industria, según (BBVA, 2022), la demanda actual de hidrógeno es de alrededor de unos 70 millones de toneladas anualmente siendo el principal consumidor la industria petroquímica y como recurso esencial para la producción de amoníaco.

Como se puede evidenciar en estudios previos sobre la factibilidad del uso del hidrógeno como sustituto a los combustibles fósiles tradicionales en el sector automotriz por parte de (CASTELLANOS MONROY, CHAPARRO FONSECA, & LOZANO ESCOBAR, 2022), se evidencia que actualmente el costo de producción de 1 barril de petróleo es de 16,3 USD frente a los 3067 USD necesarios para producir un barril de hidrógeno verde, frenando así su uso inmediato pues por la tecnología actual disponible el costo de fabricación es sumamente elevado y por consiguiente muy difícil de implementar para desarrollar vehículos que operen 100% a hidrógeno.

Actualmente el hidrógeno vehicular es aún un tema muy poco desarrollado en el Ecuador, pero por estudios previos realizado en el país como los realizados por parte de (Paredes, 2016) donde se ha evidenciado que es posible su uso complementario en el vehículo teniendo como resultado un ligero aumento de potencia y una reducción considerable de las emisiones contaminantes.

Como (Bravo Vargas & Guevara Flores, 2017), manifiestan en su investigación sobre los factores que están estrechamente relacionados al desempeño de un motor de combustión interna entre los

cuales sobresale la presión atmosférica, temperatura y densidad del aire, y la calidad de combustible utilizado, siendo este último parámetro en donde se pretende complementar con la utilización complementaria del HHO, para medir su impacto y beneficio frente al uso único de los combustibles fósiles tradicionales.

Desde un punto de vista energético el hidrógeno es el combustible con mayor relación energía/peso con una energía específica de 33,33 kWh/Kg frente a combustibles tradicionales como son por ejemplo la gasolina con aproximadamente 12 kWh/Kg, siendo este el punto de partida para incursionar en el uso del mismo en el ámbito vehicular para aprovechar las características de este elemento como combustible (Peretti & Visintin, 2005).

Según (Yuquilima Campoverde & Vintimilla Calderon, 2012), la cantidad de energía liberada durante la reacción del hidrógeno es muy aproximada a 2,5 veces, el poder calorífico que tienen los hidrocarburos más comunes como son (gasolina, diésel, entre otros), siendo su calor específico a una presión constante de 28,623 KJ/Kmol °K, y un calor específico a volumen constante de 20,309 KJ/Kmol °K, además de contar con excelentes propiedades antidetonantes (octanaje) equivalente a 130, brindando una resistencia a la generación de golpeteos o detonaciones secundarias.

Planteamiento del problema

El alto precio de los combustibles dentro del territorio ecuatoriano, además de la baja calidad del mismo, ha generado diversas investigaciones con el fin de mejorar el rendimiento de los vehículos con M.C.I.

Para el funcionamiento de los vehículos de combustión interna se necesitan de un combustible de alta calidad, caso contrario se provocará un bajo desempeño del vehículo, provocando daños en el control de emisiones del mismo y aumentando su consumo de combustible, y en casos especiales anulando su garantía, tal cual es el caso de los vehículos que cuentan con inyección electrónica.

Los combustibles fósiles derivados del petróleo, como son el Diésel y la Gasolina, determinan su calidad en base a dos aspectos importantes, como son el poder calorífico y el octanaje (en el caso de la gasolina), con estos se puede determinar la cantidad de calor que genera la combustión de cada kilogramo de una sustancia, y la capacidad antidetonante de un combustible cuando se comprime dentro del cilindro del motor, respectivamente.

El poder calorífico de la gasolina es aproximadamente entre 43.08 MJ/kg (38,99 MJ/L) y 45.50 MJ/kg (33,49 MJ/L), mientras que el Diésel cuenta con 45,57 MJ/kg (37,64 MJ/L).

La gasolina del Ecuador maneja un octanaje de 87 y 92 octanos, según la normativa INEN 935:2010, referente a los requisitos que deben cumplir las gasolinas que se pueden comercializar en el Ecuador.

Por lo cual se plantea de esta manera la propuesta usar el hidrógeno producido por un “Reactor”, donde este elemento será introducido en el cuerpo de aceleración de los automotores alimentados a base de derivados del petróleo como son el Diésel y Gasolina, con el fin de mejorar sus parámetros de funcionamiento, centrándose en verificar si existe alguna incidencia del torque y potencia del vehículo, y en el consumo de combustible de los vehículos analizados.

Justificación e importancia

Actualmente en el Ecuador a Agosto 2022 los precios de los combustibles como lo son el Diésel 1.75 USD por galón y la gasolina extra y súper con un precio de 2.40 USD y 5.28 USD por galón, son combustibles con una baja calidad en comparación a otros países de la región y los combustibles de la mejor calidad disponible tienen un costo elevado, esto da paso a que la sociedad en sí busque medidas alternativas para poder economizar sus gastos en combustible, siendo el hidrógeno una alternativa muy llamativa para usarse junto a los combustibles tradicionales ya que las modificaciones para que el

vehículo funcione con hidrógeno como combustible complementario al de fábrica serán mínimas y poco invasivas en lo que concierne a sistemas mecánicos y eléctricos del vehículo.

El hidrógeno al ser considerado una fuente de combustible secundaria debido a que es obtenido por medio de la electrolisis en una celda electrolítica a partir del agua más una solución que ayude al proceso, por sus excelentes capacidades energéticas al ser empleado junto con el combustible general del vehículo, se pretende con el presente proyecto de construcción e investigación el poder mejorar su desempeño y a su vez optimizar su consumo de combustible, para así aportar a la sociedad nuevas alternativas de mejora en la eficiencia de los vehículos y contribuir con soluciones en la reducción de los gastos económicos que están implicados en el consumo de combustible.

Objetivos

Objetivo General

- Investigar la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión.

Objetivos específicos

- Realizar la fundamentación teórica científica de la generación de hidrógeno por electrolisis del agua en oxihidrógeno que es una mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1.
- Implementar un reactor de hidrógeno por electrolisis del agua para la separación de las moléculas de oxígeno de las moléculas de hidrógeno.
- Ejecutar ensayos de medición de torque y potencia de acuerdo a la normativa de la SAE J1349 de Engine Power Test Code Spark Ignition and Compression Net Power Rating.

- Ejecutar ensayos de medición de torque y potencia de acuerdo a la normativa de la SAE J1349 antes y después de la implementación del reactor y sistema de inyección de hidrógeno vehicular.
- Determinar el consumo de combustible de los vehículos, antes y después de la implementación del reactor y sistema de inyección de hidrógeno vehicular.
- Tabular los resultados de la medición de torque y potencia para determinar el aumento o disminución de los mismos en los vehículos después la implementación del reactor y sistema de inyección de hidrógeno vehicular.

Variables de investigación

Variables Dependiente

- Condiciones de presión de la ciudad donde se realizan las pruebas de rendimiento.
- Calidad del combustible.
- Pruebas de torque y potencia en motores de combustión interna con sistema de inyección de hidrógeno Bi Fuel y Dual Fuel.

Variables Independientes

- Forma de conducción del vehículo por parte del conductor.
- Condiciones mecánicas de los m.c.i de los vehículos a analizar.
- Sistema de inyección bi - dual fuel

Hipótesis

Siendo el hidrógeno un combustible alternativo con excelentes capacidades energéticas al usarlo de manera complementaria con el combustible con el que han sido diseñados los vehículos se espera conseguir una mejora de potencia estimada de 3 CV y una economía de ahorro combustible del 5% - 10%.

Capítulo II

Marco Teórico

Hidrógeno

El hidrógeno es denominado el elemento más simple y abundante del universo, es formado únicamente por un protón y un electrón, y no cuenta con neutrones disminuyendo su masa atómica y aligerando su peso. (Díaz, 2015, p. 272)

En condiciones normales de presión y temperatura es un gas diatómico (H_2), incoloro, inodoro, insípido, no tóxico pero muy inflamable. (Díaz, 2015, p. 272)

Encontrar hidrógeno en estado natural como gas, es una tarea imposible dentro del planeta, esto debido a la ligereza que presenta este elemento por lo cual el campo gravitatorio terrestre no puede retenerlo debido a que tiene una masa prácticamente despreciable, Madrid (2009) explica que por esta razón “no se encuentra hidrógeno libre en la Tierra, siempre está combinado con otros elementos (carbono, oxígeno, flúor, cloro, yodo, azufre, etc.)”. (p.192)

Propiedades

El hidrógeno cuenta con diferentes propiedades tanto físicas como químicas, entre las principales se encuentran detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales propiedades del hidrógeno

PROPIEDAD	CUANTIFICACIÓN
Densidad	0,0899 kg/Nm ³ (en estado gaseoso) 0,0708 kg/Litro (en estado líquido)
Punto de ebullición	20,28 °K
Punto de fusión	14,02 °K

PROPIEDAD	CUANTIFICACIÓN
Poder calorífico inferior	120 MJ/kg
Poder calorífico superior	141,86 MJ/kg
Límites de explosión	4 – 75 %
Límites de detonación	18,3 – 59,0 %
Capacidad calorífica específica	$C_p = 14,199 \text{ J}(\text{kg}^*\text{K})$ $C_v = 10,074 \text{ J}(\text{kg}^*\text{K})$
Coefficiente de difusión	0,61 cm ² /s
Factor de compresibilidad	1 a 1 bar 1,13 a 200 bar 1,24 a 350 bar 1.49 a 700 bar

Nota. Tomado de Energías Renovables (Madrid, 2009, p. 193).

Las principales características del hidrógeno como fuente de energía (combustible energético), y su comparación con los combustibles convencionales, derivados del petróleo, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Propiedades comparativas de combustibles

	Hidrógeno	Gas Natural	Gasolina	Propano
PCI (kJ/kg)	120	49,5	42 – 44	44
Densidad en condiciones estándar (g/l)	0,086	0,598	718 – 778	505
Estado en condiciones estándar	Gas	Gas	Líquido	Líquido

	Hidrógeno	Gas Natural	Gasolina	Propano
Temperatura de auto ignición en aire (°C)	565 – 582	540	257	454 – 510
Concentración de inflamabilidad en aire (% en volumen)	4,1 – 74	5,3 – 15	1,4 – 7,6	2,2 – 9,5
Coefficiente de difusión en el aire (cm²/s)	0,61	0,16	0,051	0,109
Toxicidad para las personas	No tóxico Asfixiante	No tóxico Asfixiante	Venenooso Irritante para pulmones, estómago y piel	No tóxico Asfixiante

Nota. Propiedades esenciales de los combustibles. Tomado de ‘El hidrógeno y las pilas de combustible’ (Elías & Jurado, 2012, p.1051)

Tipos de hidrógeno

Según la Asociación Española de Hidrógeno (2021), expresa que “Existen distintos métodos de producción del hidrógeno, que emplean diversas fuentes de energía primaria. En función del origen de la energía empleada en el proceso y las emisiones asociadas al mismo se puede clasificar el hidrógeno producido en distintos colores”.

En la Tabla 3 se puede distinguir los tipos de hidrógeno, sus características y formas de producción.

Tabla 3

Tipos de hidrógeno

Propiedad	H. Gris	H. Azul	H. Turquesa	H. Verde
Características	Este tipo de hidrógeno es aquel que es producido mediante fuentes de energía fósil con emisiones contaminantes asociadas	Es producido a partir de fuentes de energía de origen fósil, pero con bajas emisiones asociadas	El hidrógeno surge a partir de fuentes de origen fósil, sin emisiones asociadas	Conocido como hidrógeno renovable, es producido a partir de fuentes de energía renovables y con bajas, o nulas, emisiones contaminantes asociadas
Métodos de producción	Reformado con vapor del natural Gasificación del carbón	Incorporación de sistemas de captura y almacenamiento de carbono a los métodos: Reformado con vapor del natural Gasificación del carbón	Pirolisis del gas natural Carbono sólido	Electrólisis del agua Reformado con vapor de biogases, bioalcoholes o residuos orgánicos Fotocatálisis Termólisis del agua Producción por microorganismos

Nota. Datos característicos de los tipos de hidrógeno y el método de producción aplicado para su obtención. Tomado de la Asociación Española de Hidrógeno (2021)

Combustible para motores de combustión

El uso de hidrógeno como combustible para los motores de combustión interna, expresa Prades (2010), que el uso del hidrógeno “genera una mayor eficiencia que la gasolina, y produce pocas emisiones contaminantes, ya que su reacción química genera únicamente vapor de agua y pequeñas cantidades de NOx” (p. 57).

“El hidrógeno en peso tiene un alto contenido energético, casi tres veces superior al de la gasolina, y en forma de gas, tiene un contenido energético muy bajo, cuatro veces inferior al de la gasolina”. (Madrid, 2009, p.196)

Ventajas y desventajas del hidrógeno

El hidrógeno es considerado como la mejor alternativa de reemplazo a los combustibles fósiles, ya que es el elemento más abundante en el planeta. Según Hortal y Miranda Barreras (2005):

El hidrógeno es posible obtenerlo a través de una variedad de métodos, pero su principal ventaja y que lo considera como el combustible del futuro es porque con el uso de la electricidad es posible su extracción del agua, misma que forma tres cuartas partes del planeta, no obstante actualmente la mayor parte del hidrógeno es producido mediante el reformado del gas natural, práctica que también contribuye con emisiones contaminantes hacia la atmósfera, y de forma irónica la quema de carbón para generar electricidad que será usada en la electrolisis para la obtención de hidrógeno hace que esta energía alternativa deje de ser tan limpia con el medio ambiente. (p. 10)

Si bien el hidrógeno es una fuente prometedora como sustituto de los combustibles fósiles hoy en día tecnológicamente aún no se ha encontrado una forma eficiente de poder obtenerlo en masa.

La electrolisis

La electrólisis es un proceso químico, que consiste en suministrar energía eléctrica a una solución química con el fin de que en esta se genere una reacción química no espontánea, este se lleva a cabo en un dispositivo conocido como celda electrolítica. (Goldsby & Chang, 2017, p. 841).

El uso de este proceso para la producción de hidrógeno a partir del agua, según Elías y Jurado (2012), infieren que:

La reacción se inicia aplicando una corriente de 1,5V a dos electrodos situados en un electrolito ion conductor, normalmente potasa cáustica (KOH). En el ánodo se genera oxígeno, y en el cátodo hidrógeno, que se mantienen separados por una membrana permeable a los iones que mantiene el equilibrio de cargas. (p. 1052)

Por último, Madrid (2009) expresa en forma concisa que el método de obtención de hidrógeno mediante el uso de la electrólisis “Se basa en la separación electrolítica de los componentes del agua (hidrógeno y oxígeno)” (p.197).

Sistema de generación de hidrógeno

El sistema de generación de hidrógeno consta de un recipiente denominado generador el cual esta sellado herméticamente y aloja en su interior las placas de acero que son las responsables directas de realizar el fenómeno de electrolisis junto al hidróxido de potasio, seguidamente a través de cañerías el hidrógeno en estado gaseoso producido es transportado al burbujeador en donde se almacena el electrolito para el generador y a su vez cumple la función de válvula de paso del hidrógeno evitando que si en un caso se llegara a tener una deflagración esta no llegue al generador, una vez que el gas hidrógeno se encuentra en el burbujeador este viaja por medio de una cañería a la entrada de la toma de aire del motor donde ingresara el hidrógeno al mismo.

Parámetros de desempeño

Torque

El torque o par motor es comprendido como la acción de la fuerza tangencial que recibe el brazo del cigüeñal por acción de la fuerza impulsora generada en la cámara de combustión durante el tiempo de explosión en los motores de ciclo OTTO, y en el tiempo de combustión en los motores Diésel. (Kindler & Kinast, 1986, p.117)

Los motores de combustión no tienen un par de valor constante, ya que depende del número de revoluciones a los que opera, y se representa en una curva que compara el par motor en base a las revoluciones del motor. (Kindler & Kinast, 1986, p.118)

Potencia

La potencia mecánica de un motor es definida como el trabajo efectuado en la unidad de tiempo, generalmente en segundos. (Kindler & Kinast, 1986, p.147)

En los M.C.I. o motores de combustión interna, se encuentran dos clases de potencias, la indicada y la efectiva, estas muestran la potencia generada en el motor y la que llega al volante de impulsión deducidas las pérdidas mecánicas como el rozamiento, accionamientos de auxiliares, etc., respectivamente. (Kindler & Kinast, 1986, p.150)

Consumo de combustible en carretera

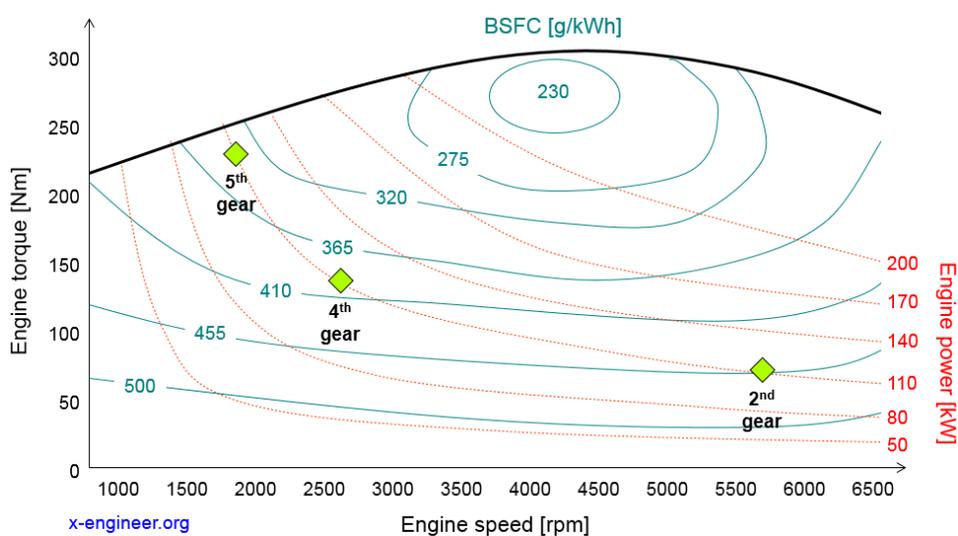
Este parámetro del motor de combustión interna indistintamente de cuál sea el combustible con el cual fue diseñado para operar puede ser tratado desde el siguiente punto de vista como. "El consumo producido en un tramo de carretera y circulación normal" (KINDLER & KINAST, 1986, p. 160). Es así como este parámetro estará estrechamente ligado a la forma de conducción y la geografía por donde va a transitar el vehículo.

Consumo específico

Hace alusión al consumo que va tener un motor en un banco de pruebas sometido a condiciones determinadas, o a su vez se los puede ver cómo. “La cantidad de combustible que necesita un motor para que en el banco de pruebas funcione una hora con una potencia de 1KW” (KINDLER & KINAST, 1986, p. 160). El consumo específico se podrá calcular con la ayuda de las siguientes formulas:

Figura 1

Consumo específico motor Otto en función del régimen de giro y la presión media efectiva

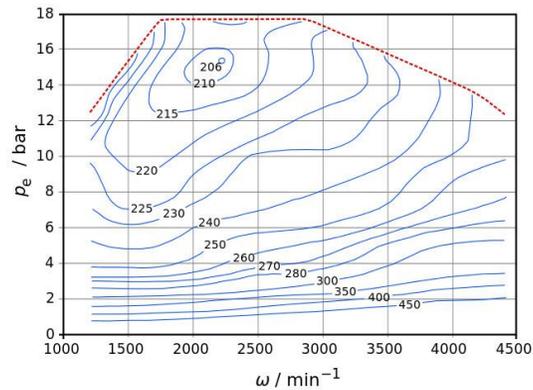


Nota. En la figura es posible apreciar los valores del consumo específico típicos para un motor tipo Otto.

Tomada de (x-engineer, 2017).

Figura 2

Consumo específico motor Otto en función del régimen de giro y la presión media efectiva



Nota. En la figura es posible apreciar los valores del consumo específico típicos para un motor tipo diésel. Tomada de (x-engineer, 2017)

Presión media efectiva

La presión media efectiva puede considerarse como. “Un parámetro que puede evaluar la eficacia con la que el motor ha utilizado el volumen desplazado del motor durante las diferentes partes de su ciclo” (Heywood, 1988, p. 50).

$$Pme = 2\pi n_c \frac{T}{Vd}$$

Fuente: (Bensinger, 1973)

Donde:

Pme = Potencia media efectiva (MPa)

n_c = Revoluciones por carrera (Motor 4T $n_c = 2$)

T = Par (Nm)

Vd = Desplazamiento del motor (cm^3)

Sistema De Alimentación

Sistema BI-FUEL

El sistema de alimentación BI-FUEL se caracteriza por que el motor de combustión interna cuenta con dos sistemas de combustible en donde va a operar con 2 diferentes tipos de combustibles, pero con la peculiaridad de que solo va usar uno a la vez, más no los dos al mismo tiempo.

Sistema DUAL-FUEL

De forma similar al sistema BI-FUEL se tendrá dos sistemas de combustible para el motor de combustión interna, pero en esta ocasión el motor va a operar con el sistema de combustible original más el sistema complementario a la vez, siendo este último como un aporte adicional de una fuente de energía adicional para el motor.

Instrumentos De Medición

Dinamómetro

El dinamómetro es un equipó utilizado para la medición de la potencia o el par generados por una máquina, ya sea de manera estática, como son los dinamómetros de motor, así como de manera dinámica, al utilizar un dinamómetro de chasis, el cual consiste en una plataforma que cuenta con rodillos sobre los que se sobrepondrá los neumáticos del vehículo, con el fin de ejercer una fuerza resistiva y poder medir la potencia ejercida por el motor para vencer esta fuerza. (Spiegato, 2021)

Los resultados de la medición de este instrumento son presentados a través de un software, 'DYNOMAX', que registra, y gráfica los datos de torque y potencia generados por el motor.

El dinamómetro utilizado para la obtención de las curvas de torque y potencia es un 'Dynomite 2400 2W' capaz de soportar hasta 1650 Hp de potencia, y soporta un peso máximo de 10 000 lb por eje.

Software DINOMAX

Es un software proporcionado por Dynamite al adquirir alguno de sus productos, que es utilizado para la adquisición de datos que se conecta con el dinamómetro de chasis, y permite la monitorización de los valores de torque y potencia, así como también su grabado en curvas.

Interfaz OBD-II ELM 327

Se trata de una interfaz la cual a través del puerto OBD-II, va a comunicarse con la PCM del vehículo y esta va a leer los parámetros de funcionamiento y mismos que serán enviados hacia un Smartphone o computadora a través de su conexión inalámbrica bluetooth.

Figura 3

Interfaz ELM 327



Nota. En la presente figura se muestra la interfaz inalámbrica empleada para el desarrollo de los ensayos de consumo de combustible. Tomada de (Herramientas de diagnóstico del vehículo ELM327, 2017)

Se presenta una tabla con las principales características de la interfaz ELM 327.

Tabla 4*Principales características de la interfaz ELM 327*

Característica	Parámetro
Voltaje de operación	12 V (DC)
Conectividad	Bluetooth 2.0
Radio de alcance	5 metros
Frecuencia	2.4 GHz
Compatibilidad	Dispositivos Android Ordenadores portátiles
Chip	ELM 327
Protocolos soportados	ISO15765-4
	ISO 9141-2
	ISO14230-4
	SAE J1850 SAE J1850

Nota. En la presente tabla se detallan las características técnicas de la interfaz ELM 327 así como sus dispositivos compatibles y cuáles son los protocolos de comunicación soportados. Tomada de (Scanner automotriz Bluetooth ELM327 ODB2 V2.1, 2020)

Aplicación Torque

Esta aplicación se encuentra disponible en la tienda de Google Play para dispositivos Android, misma que va a trabajar junto a la interfaz ELM 327 por medio de una conexión bluetooth, con la cual es posible obtener información en tiempo real como códigos DTC, PID de diferentes sensores y datos generales del vehículo.

Prueba WLTC

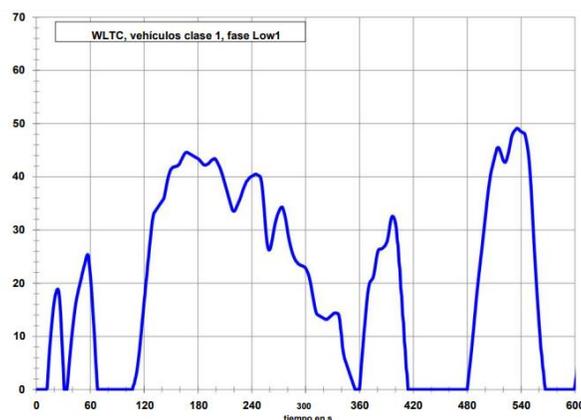
El ciclo de prueba de vehículos livianos armonizados mundiales o WLTC es un ciclo de prueba desarrollado por el foro mundial de las naciones unidas el cual tiene por objetivo. Según la UNECE (2018).

El facilitar un procedimiento estandarizado a nivel mundial que permita determinar niveles de emisiones, consumo de combustible, consumo de energía eléctrica y autonomía para vehículos eléctricos, de forma que estos ensayos puedan ser replicados de manera fácil y simulen el comportamiento en la vida real del vehículo a analizar a fin de poder determinar con mayor precisión como este va a operar en condiciones reales de funcionamiento. (p. 10)

Bajo este objetivo han sido desarrollados una serie ensayos dependiendo de la clase de vehículo a evaluar, para el desarrollo de la presente investigación se ha considerado el procedimiento para vehículos clase 1 el cual contempla a vehículos de cuatro o más neumáticos cuyo fin es netamente el transporte de una o más personas, dicho ensayo consta de dos fases una fase baja que emula las condiciones de manejo urbano y una fase media que emula las condiciones de manejo extra urbano respectivamente.

Figura 4

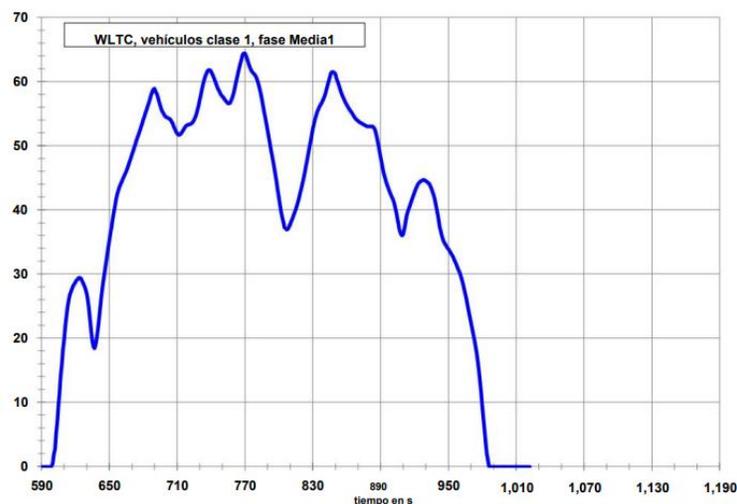
Fase baja del ensayo WLTC para vehículos clase 1



Nota. En la gráfica presentada se muestra la fase baja del ciclo WLTC para vehículos de clase 1. Tomada de (UNECE, 2018, p. 23)

Figura 5

Fase media del ensayo WLTC para vehículos clase 1



Nota. En la figura presentada se muestra la fase media del ciclo WLTC para vehículos de clase 1. Tomada de (UNECE, 2018, p. 24)

Normativa SAE J1349

Esta normativa estipula que se realiza la medición de la potencia del motor con accesorios, como son el filtro de aire, silenciador de escape, alternador y ventilador, por lo cual se obtiene la potencia neta del vehículo.

Esta norma indica esencialmente los valores atmosféricos en los que se realizara la prueba de dinamómetro. Estos datos son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5

Parámetros atmosféricos para la prueba de torque y potencia según la SAE J1349

Parámetro	Valor definido por la SAE J1349
Presión Atmosférica (bar)	1
Presión de Aire seco (bar)	0.99
Temperatura Ambiente (°C)	25
Temperatura Combustible (°C)	40
Potencia Obtenida (%)	104

Nota. Datos atmosféricos para los ensayos de torque y potencia en dinamómetro, Tomado de la norma

SAE J1349

Capítulo III

Metodología De Desarrollo

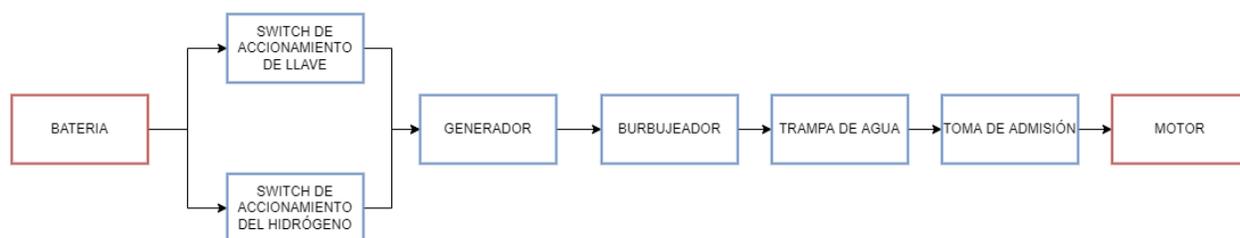
Implementación del sistema de generación de hidrógeno

El sistema de generación de hidrógeno cuenta tanto con un generador en el que se realiza el proceso de electrólisis del electrolito, el cual está formado por hidróxido de potasio más agua destilada en relación 1:50, y cuenta con dos mangueras que conectan al burbujeador, una de entrada del electrolito y una de retorno del hidrógeno, una vez generado este elemento, será llevado a la admisión del motor a través de cañerías, las cuales estarán conectadas a una trampa de agua, que actúa como un cortafuegos, cortando la flama en caso de una combustión en la toma de hidrógeno con el fin de evitar una explosión en el burbujeador, se conecta con la toma de aire de la admisión específicamente a la toma del filtro de aire, después del filtro.

En la Figura 6 se muestra un esquema de bloques sobre la implementación de este sistema generador de hidrógeno.

Figura 6

Diagrama de bloques de la implementación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En la figura se indica la implementación del generador de hidrógeno

Características de los vehículos

Características técnicas Kia Sportage R 2.0 GLS MT

Para el vehículo Kia Sportage R se presentan las características principales de su motor en la tabla 6.

Tabla 6

Características técnicas Kia Sportage R 2.0 GLS MT

Característica	Parámetro
Serie	G4KD
Cilindraje	1998 cc
Diámetro x Carrera (mm)	86 x 86
Relación de compresión	9.5:1
Cantidad de cilindros	4
Potencia	163 Hp @ 6200 rpm
Torque	195 Nm @ 4600 rpm
Combustible	Gasolina

Nota. En la presente tabla se puede apreciar los parámetros principales del motor del vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT. Tomada de (Kia Sportage: Specifications, s.f.)

Características técnicas Chevrolet D-Max 3.0 CRDI

Para el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI se muestran las características principales de su motor en la tabla 7.

Tabla 7*Características técnicas Chevrolet D-Max 3.0 CRDI*

Característica	Parámetro
Serie	4JJ1
Cilindraje	3000 cc
Diámetro x Carrera (mm)	95.4 x 104.9
Relación de compresión	17.5:1
Cantidad de cilindros	4
Potencia	134 Hp @ 2500 rpm
Torque	280 Nm @ 1800 rpm
Combustible	Diésel

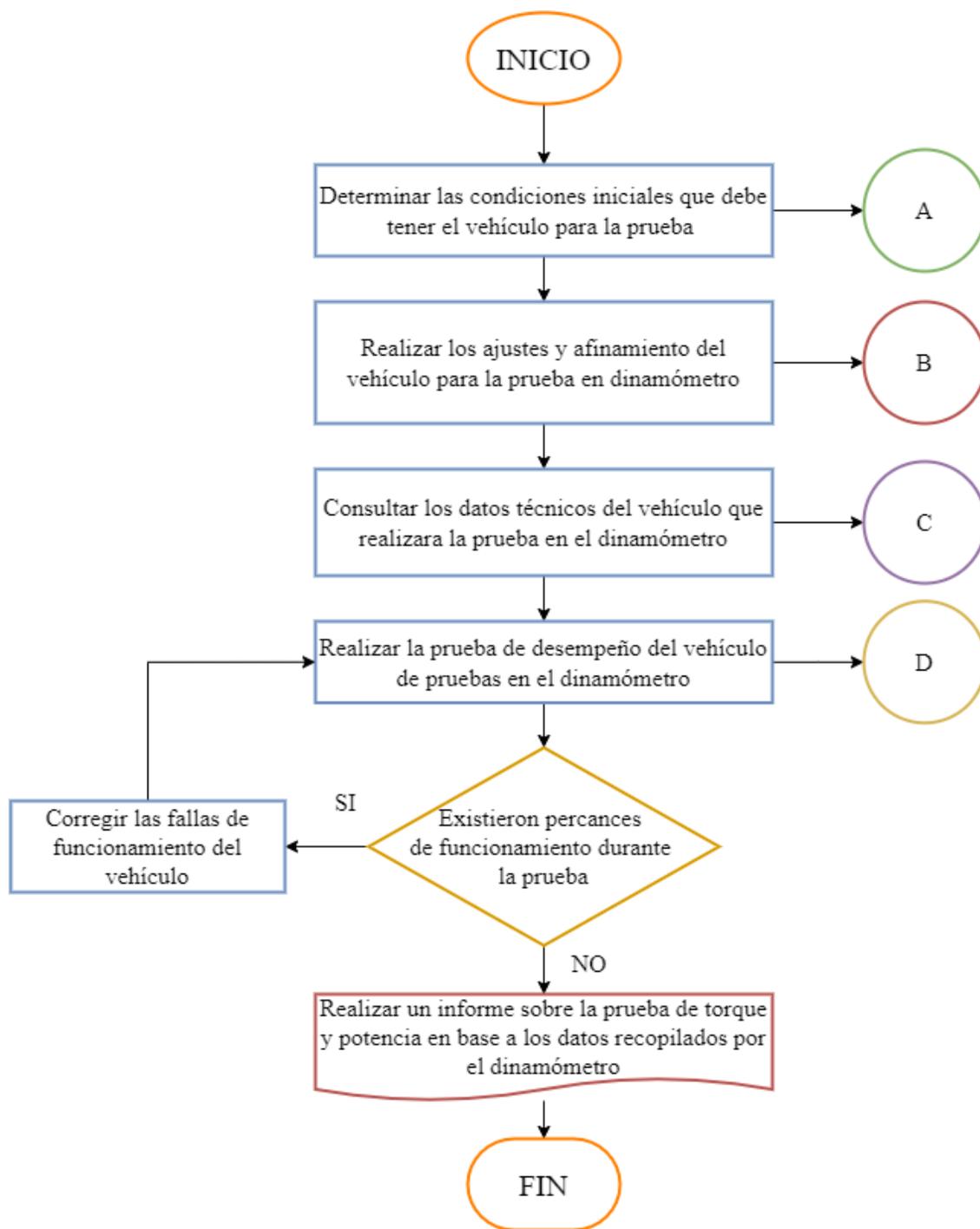
Nota. En la presente tabla se puede apreciar los parámetros principales del motor del vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI. Tomada de (Yusri y otros, 2015)

Protocolo para la prueba de torque y potencia

Para el desarrollo del ensayo de la prueba de torque y potencia en los vehículos se requiere de un protocolo estandarizado para replicar las condiciones de ejecución de la prueba, tanto en los vehículos con alimentación normal y aplicando hidrógeno al combustible, esto con el fin de garantizar y minimizar el error en los resultados obtenidos.

Figura 7

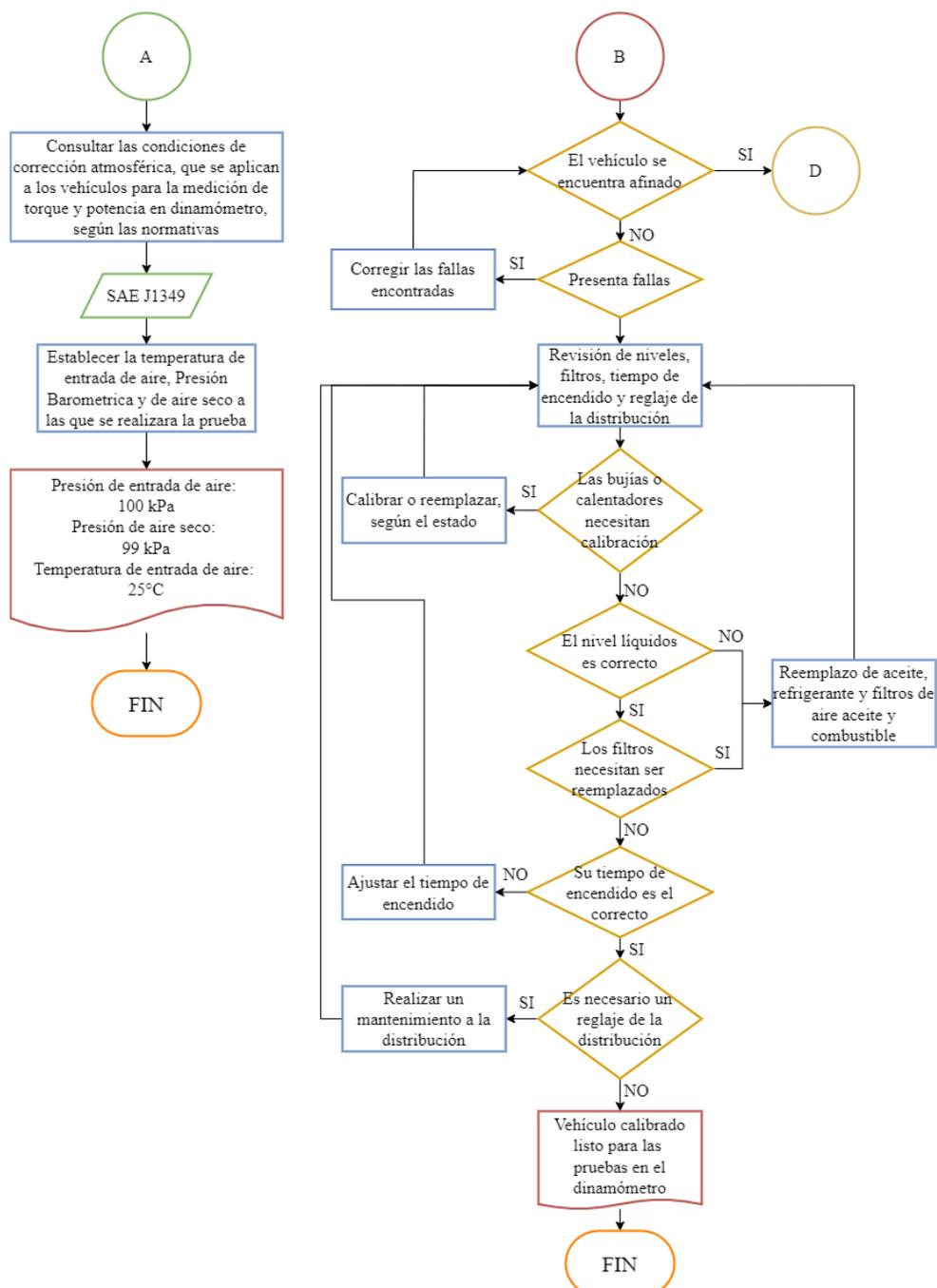
Protocolo general para la prueba en dinamómetro



Nota. En el diagrama de flujo se presenta el proceso general para el ensayo de torque y potencia

Figura 8

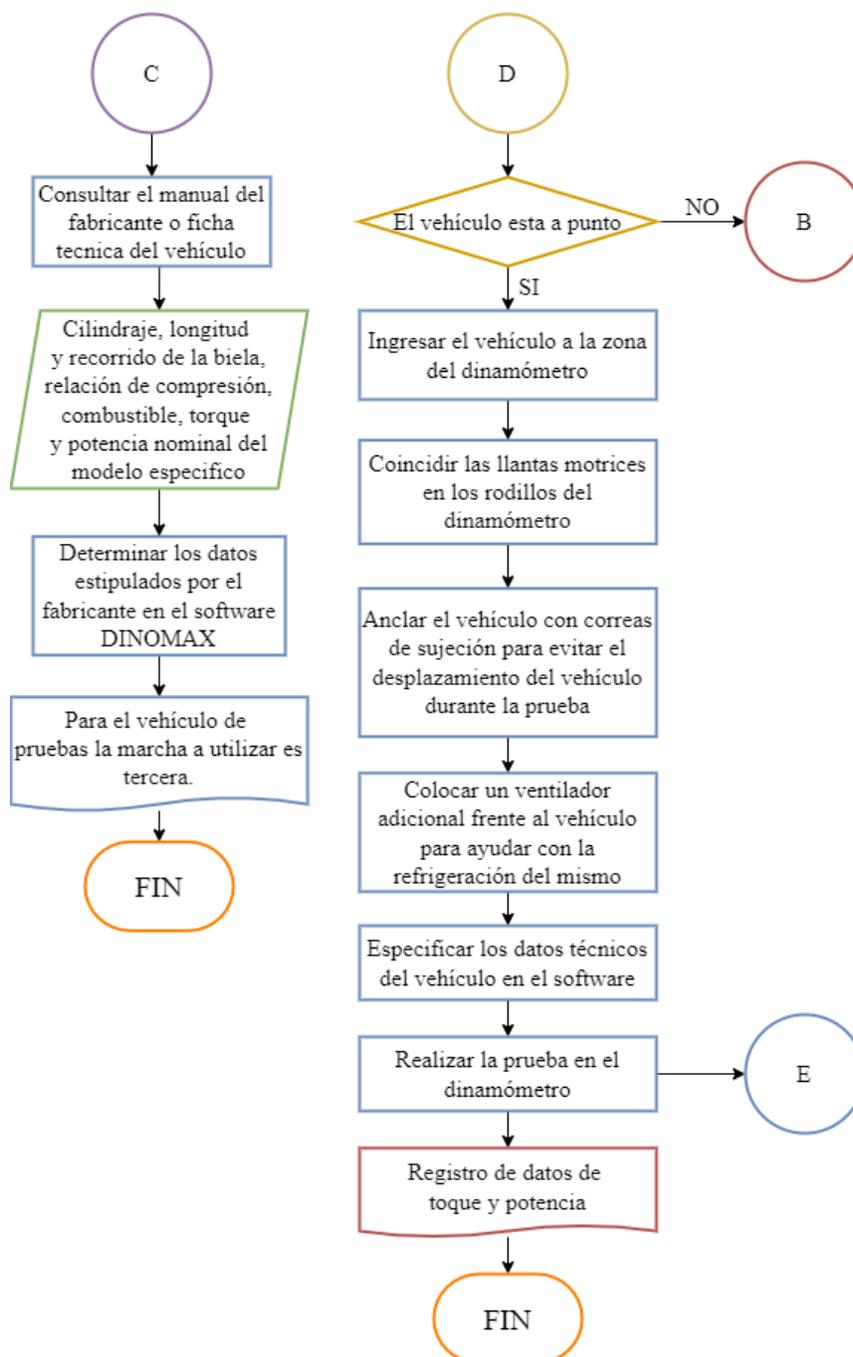
Conectores A y B del protocolo para la prueba en dinamómetro



Nota. En el diagrama de flujo se presenta los subprocesos de acondicionamiento atmosférico y afinamiento del vehículo previo al ensayo de torque y potencia.

Figura 9

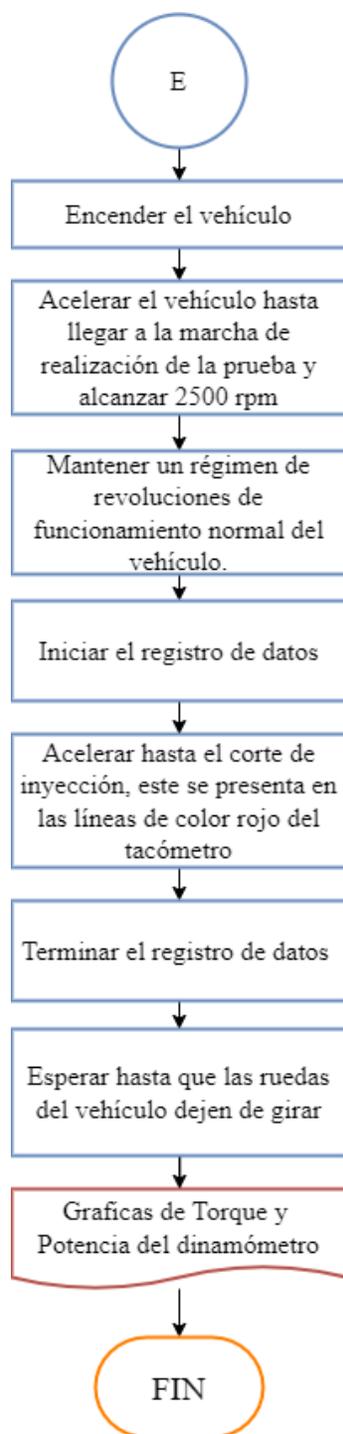
Conectores C y D del protocolo para la prueba en dinamómetro



Nota. En el diagrama de flujo se presenta los subprocesos de revisión de datos técnicos y preparación del vehículo para el ensayo de torque y potencia.

Figura 10

Conector E del protocolo para la prueba en dinamómetro



Nota. En el diagrama de flujo se presenta el subproceso de realización del ensayo de torque y potencia.

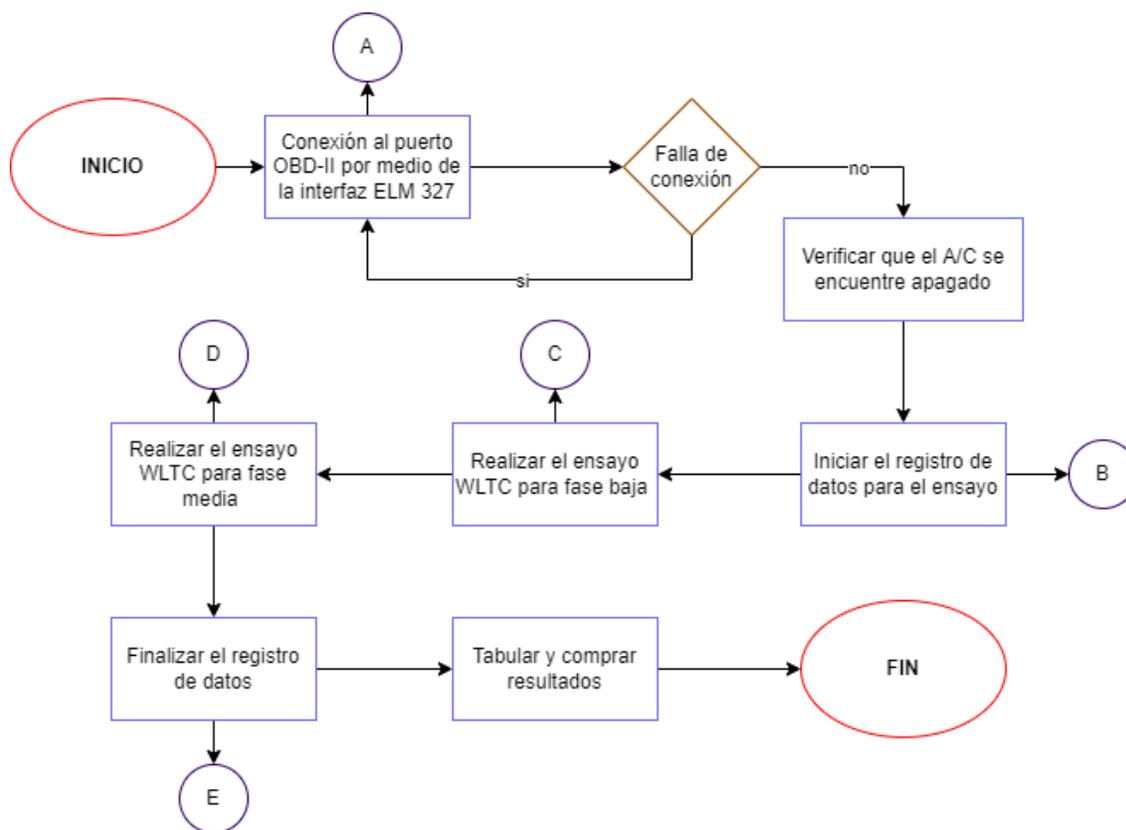
Protocolo para la prueba de consumo de combustible

Para el desarrollo del ensayo de consumo de combustible en los vehículos es necesario contar con un protocolo que ayude a estandarizar y garantizar la ejecución de las mismas acciones en tiempos definidos a fin de garantizar que los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos sean lo más confiables posibles evitando errores de ejecución que puedan ocasionar una mal interpretación de la información al momento del análisis respectivo.

Se presenta el protocolo general desarrollado y ejecutado en las pruebas de combustible realizadas a los vehículos gasolina y diésel.

Figura 11

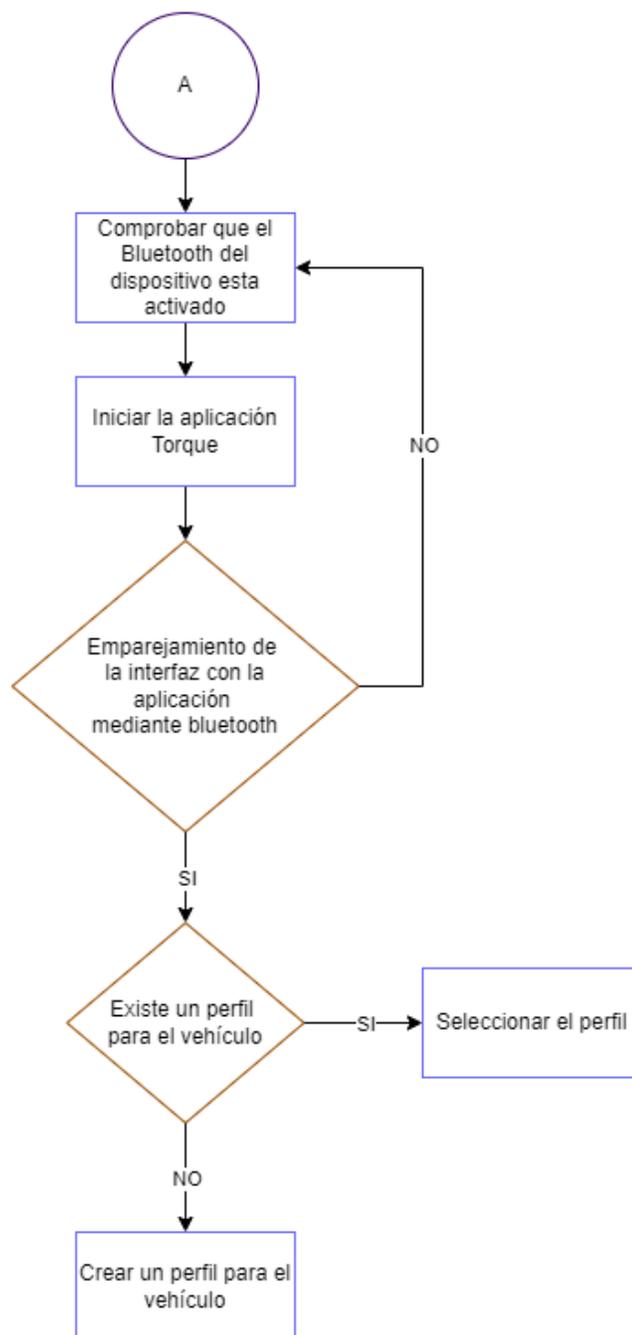
Protocolo general de desarrollo del ensayo de la prueba de combustible



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar en el ensayo de consumo de combustible.

Figura 12

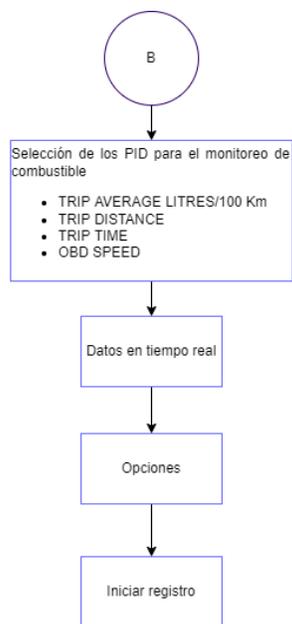
Conector de salida A



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar a cabo en el ensayo de consumo de combustible para el conector de salida A.

Figura 13

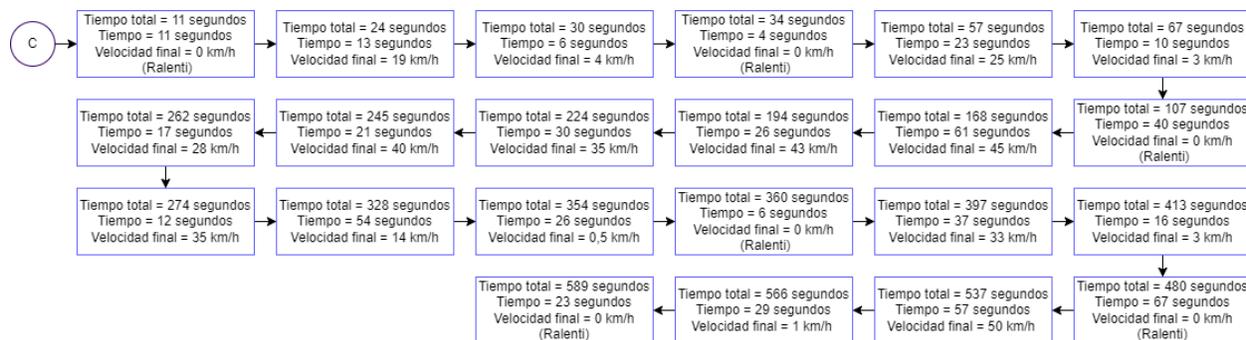
Conector de salida B



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar a cabo en el ensayo de consumo de combustible para el conector de salida B.

Figura 14

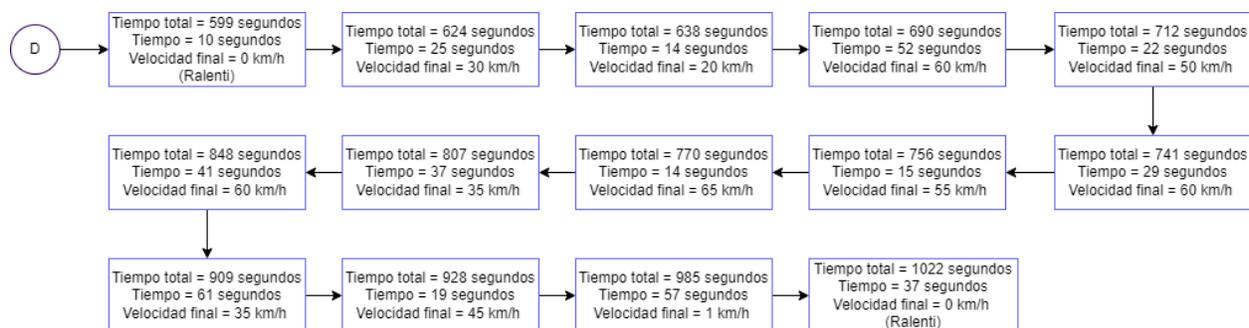
Conector de salida C



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar a cabo para la fase baja del ensayo de consumo de combustible que corresponde al conector de salida C.

Figura 15

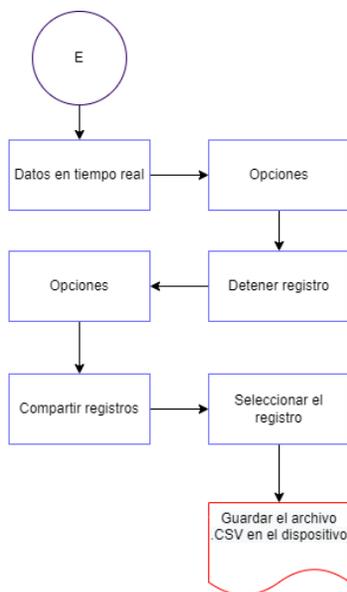
Conector de salida D



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar a cabo para la fase media del ensayo de consumo de combustible que corresponde al conector de salida D.

Figura 16

Conector de salida E



Nota. En la figura se presenta el proceso general a llevar a cabo en el ensayo de consumo de combustible para el conector de salida E.

Ensayo de torque y potencia

Al realizar el ensayo de torque y potencia se va a seguir el protocolo definido en las figuras 7, 8, 9 y 10 del presente documento, verificando tanto las condiciones atmosféricas a las que se realizara la prueba, y el afinamiento o puesta a punto del vehículo, en las Figuras 17 y 18 se presentan cada uno de estos procesos respectivamente.

Figura 17

Condiciones atmosféricas a las que se realizara el ensayo de torque y potencia



Nota. La figura indica el medidor atmosférico utilizado por 'Dinámica Competición' para la estipulación de los valores atmosféricos a ingresar al software DYNOMAX en el apartado tiempo.

Figura 18

Puesta a punto del vehículo de pruebas gasolina



Nota. En la figura se muestra el proceso de puesta a punto de los vehículos.

Se revisa los datos técnicos de los motores, para la calibración del dinamómetro, los mismos que se encuentran definidos en las Tablas 6 y 7, correspondientes a los parámetros técnicos de los motores de encendido provocado, y encendido por compresión, respectivamente.

Se realiza el ingreso del vehículo a la zona del dinamómetro en el taller 'Dinámica Competición' el cual se representa en la Figura 19, además se tendrá que coincidir las ruedas motrices con los rodillos del dinamómetro, tal cual se muestra Figura 20.

Figura 19

Zona del dinamómetro en el taller 'Dinámica Competición'



Nota. La figura presenta la zona del dinamómetro en el taller 'Dinámica Competición'

Figura 20

Montaje del vehículo gasolina en el dinamómetro



Nota. En la figura se muestra el posicionamiento y montaje del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.

Se deberá anclar el vehículo por su parte frontal y trasera, con el fin de evitar el movimiento del mismo, esto se evidencia en la Figura 21 y en la Figura 22, respectivamente, adicionalmente se ubican

ventiladores adicionales frente al vehículo para ayudar a la refrigeración del mismo durante el ensayo, ya que el mismo es muy exigente, se muestra la ubicación de estos en la Figura 23.

Figura 21

Anclaje posterior del vehículo diésel



Nota. Se muestra el anclaje trasero del vehículo diésel

Figura 22

Anclaje delantero del vehículo diésel



Nota. Se indica el anclaje frontal del vehículo diésel

Figura 23

Posición de los ventiladores



Nota. La figura muestra la ubicación de los ventiladores de apoyo para la refrigeración.

Se tendrá que configurar los parámetros del software previo a la realización del ensayo de torque y potencia, el mismo se muestra en las Figuras 24, 25, 26, 27 y 28. Además la Figura 29 presenta la pantalla del software para la captura de datos.

Figura 24

Ingreso de datos de motor en el software DINOMAX

Nota. Se indica en la figura los datos del motor ingresados al software DINOMAX

Figura 25

Ingreso de datos de tiempo en el software DINOMAX

Nota. En la figura se muestra los datos meteorológicos ingresados al software

Figura 26

Ingreso de datos del vehículo en el software DINOMAX

Stalyn Alvarez #7153 on 2022-08-02 @ 16-07-01

Nombre de archivo: C:\Program Files (x86)\DYNO-MAX\Runs\Stalyn Alvarez\Chevrolet D-Max 3.0 d\Stalyn Alvarez #7153 or

Ejecución de prueba: Stalyn Alvarez #7153 on 2022-08-02 @ 16-07-01 Nº: 7153 Fecha: 8/2/2022

Por: Ronny Hidalgo Hora: 4:07 PM

Nombre: Stalyn Alvarez Importar (ejecutar modelo) Engine's Test Hours: 20919.7

Vehículo: Chevrolet D-Max 3.0 d Exportar configuración de ejecución como... #1- Four Stroke Otto

Motor Tiempo Inercia Vehículo Fuel Ignición Cabezal Inducción Escape Válvulas Varios Dyno

Mostrar en informe de ejecución Mostrar en informe de impresión rápida << Simple

Relación de engranajes: 0.15 6.667 :1 Peso: 1795 0 kg Buscar peso y Gs...

Nº: Desaceleración: 0.055 0 G's a 55 MPH

Descripción: Diámetro de neumático: 69 cm

Pérdida de potencia de sist. de 1% de pérdida de sist. de transmisión: rpm-B

859 Hp 10 % Fuente de velocímetro: #0- Shaft RPM

a: 5252 RPM a: 5252 RPM Fuente de aceleración: #0- Speedometer

hasta 2 Exponente hasta 0 Exponente Compensación de extremo de acelerómetro: 0%

Acercar automáticamente potencia del sist. de transmi: 10 % de pérdida para fórmulas de potencia estimada de volante

Nota. Figura que indica los datos del vehículo ingresados al software

Figura 27

Ingreso de datos de combustible en el software DINOMAX

Stalyn Alvarez #7153 on 2022-08-02 @ 16-07-01

Nombre de archivo: C:\Program Files (x86)\DYNO-MAX\Runs\Stalyn Alvarez\Chevrolet D-Max 3.0 d\Stalyn Alvarez #7153 or

Ejecución de prueba: Stalyn Alvarez #7153 on 2022-08-02 @ 16-07-01 Nº: 7153 Fecha: 8/2/2022

Por: Ronny Hidalgo Hora: 4:07 PM

Nombre: Stalyn Alvarez Importar (ejecutar modelo) Engine's Test Hours: 20919.7

Vehículo: Chevrolet D-Max 3.0 d Exportar configuración de ejecución como... #1- Four Stroke Otto

Motor Tiempo Inercia Vehículo Fuel Ignición Cabezal Inducción Escape Válvulas Varios Dyno

Mostrar en informe de ejecución Mostrar en informe de impresión rápida

Calcular método de flujo de combustible: #0- Use Fuel A

Tipo y descripción: diesel

Presión de combustible: 0 Bar Gravedad específica: 0.73 Octanos: 85

Fuente de propor. de aire/combustible: #0- Lambda (O2)AFR Module

Nota. La figura muestra los datos del combustible ingresados al software

Figura 28

Ingreso de datos de inducción en el software DINOMAX

Nota. La figura muestra los datos de mejoramiento de alimentación que cuenta el vehículo.

Figura 29

Pantalla del software DINOMAX para el registro de datos de torque y potencia

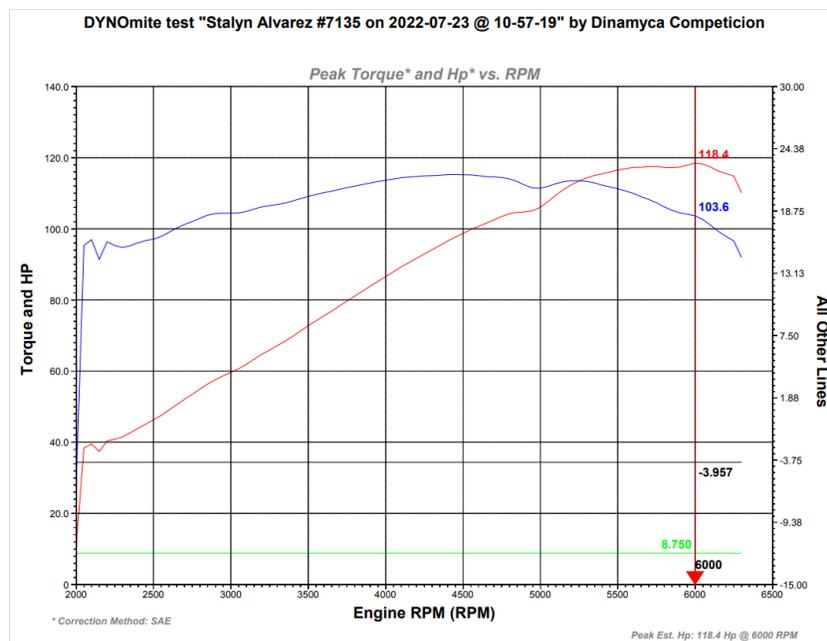


Nota. La figura indica la pantalla principal del software para el registro de datos de torque y potencia

La Figura 30 indica la presentación de resultados de la prueba en dinamómetro la cual muestra las curvas de Torque y potencia respecto a las RPM del vehículo.

Figura 30

Pantalla de presentación de datos de Torque y Potencia en el software DINOMAX



Nota. En la figura se muestra los datos de torque y potencia en la pasada de calibración del vehículo gasolina del software, en el cual la curva roja presenta la potencia y la curva azul muestra el torque del vehículo.

Ensayo de consumo de combustible

Para la ejecución del ensayo de combustible indistintamente si se la va a efectuar en el vehículo a gasolina o a diésel, se va a seguir el protocolo de consumo de combustible donde se va a localizar el puerto de conexión OBD-II del vehículo donde se conectará la interfaz ELM 327.

Figura 31

Localización del puerto de conexión OBD-II en el vehículo Kia Sportage R



Nota. En la figura se puede observar el conector OBD-II de 16 pines el cual se encuentra ubicado en la parte inferior de la columna de dirección del vehículo.

Se procede a ejecutar la aplicación torque siempre y cuando, se compruebe que previamente el bluetooth del dispositivo móvil se encuentra activado, la interfaz establecerá comunicación con la aplicación y se deberá seleccionar el perfil del vehículo, mismo que cuenta con información básica como cilindrada, capacidad de combustible del tanque y tipo de combustible.

Figura 32

Apartado de selección del perfil del vehículo de la aplicación torque



Nota. En figura se puede observar el entorno de la aplicación para la selección de los perfiles de los vehículos configurados.

Se verificará si el vehículo dispone de aire acondicionado, si llegase a disponer hay que verificar que el mismo se mantenga apagado durante el transcurso del ensayo, y se procede a seleccionar los PID a monitorizar, mismo que se configuraran en el apartado de Configuración/Registro de datos y carga/Elije que monitorizar, se desplegara una lista donde permitirá agregar o eliminar PID para su registro

Figura 33

Lista de PID a monitorizar durante el transcurso del ensayo de consumo de combustible



Nota. En la figura se evidencia los 4 PID a ser utilizados en las pruebas de consumo tanto para gasolina como diésel.

Una vez verificado los PID a monitorizar durante el ensayo se procede a elegir la opción información en tiempo real/configuración/iniciar registro, habilitando así la grabación de los datos seleccionados en tiempo real, en este momento se procede a iniciar con la fase baja y media del ensayo WLTC especificados en los conectores de salida C y D del protocolo, en donde se provee información de velocidad e intervalos de tiempo que debe cumplir el vehículo para cada una de las fases.

Figura 34

Apartado de inicio de registro de datos



Nota. En la figura se muestra el entorno de la aplicación en la sección de información en tiempo real, donde se encuentra la opción que permitirá grabar los PID seleccionados para luego poder analizarlos.

Para poder detener el registro de datos se procederá a ubicarse en la sección de información en tiempo real/configuración/detener registro.

Figura 35

Apartado de finalización del registro de datos



Nota. En la figura se muestra el entorno de la aplicación en la sección de información en tiempo real, donde se encuentra la opción que permitirá detener la grabación de los PID seleccionados.

Los datos registrados durante el ensayo WLTC pueden ser exportados en formato .CSV que podrá ser analizado en como una base de datos a través del programa Microsoft Excel, para ellos se procederá en el apartado de información en tiempo real/configuración/compartir registros/seleccionar el registro deseado/guardar como archivo .CSV.

Figura 36

Exportación de los PID grabados durante el ensayo

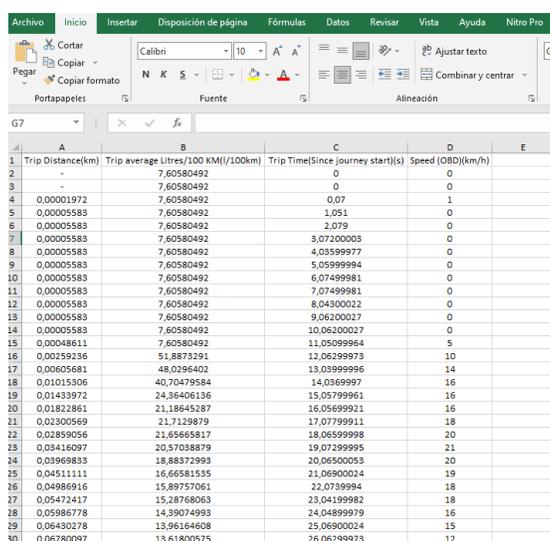


Nota. En la figura se muestra el entorno de la aplicación en la sección de información en tiempo real, donde se procederá a exportar la información grabada durante el transcurso del ensayo.

El archivo .CSV obtenido puede ser abierto mediante el programa Microsoft Excel, donde se podrá tabular e inspeccionar los valores obtenidos durante el ensayo.

Figura 37

Estructura del archivo .CSV generado



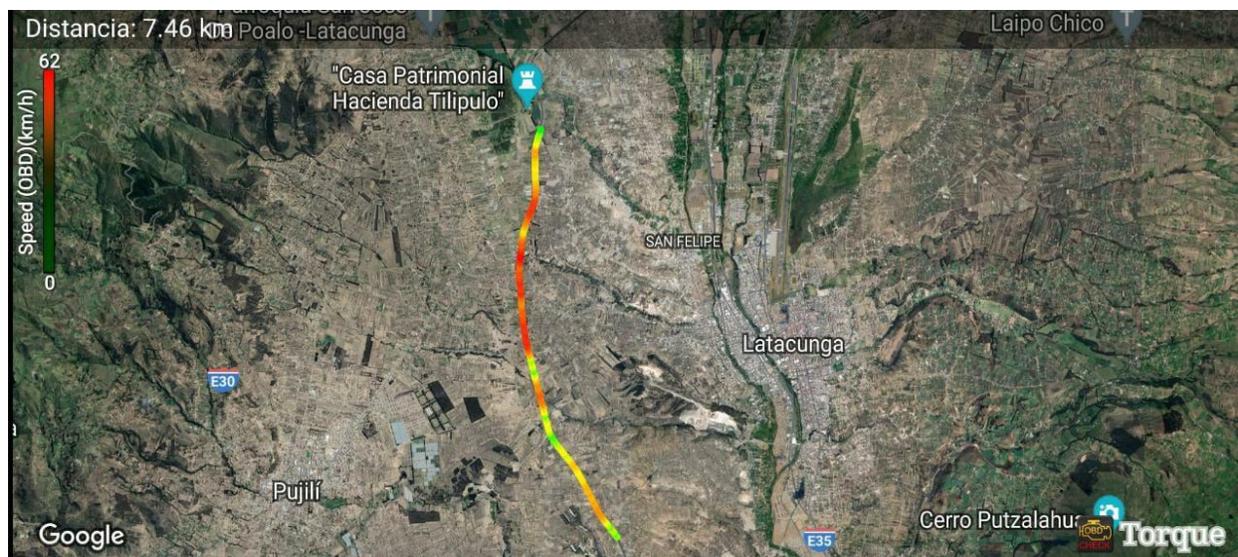
	A	B	C	D	E
1	Trip Distance(km)	Trip average Litres/100 KM((/100km)	Trip Time(Since journey start)(s)	Speed (OBD)(km/h)	
2	-	7,60580492	0	0	
3	-	7,60580492	0	0	
4	0,00001972	7,60580492	0,07	1	
5	0,00005583	7,60580492	1,051	0	
6	0,00005583	7,60580492	2,079	0	
7	0,00005583	7,60580492	3,07200003	0	
8	0,00005583	7,60580492	4,03599977	0	
9	0,00005583	7,60580492	5,0599994	0	
10	0,00005583	7,60580492	6,07499981	0	
11	0,00005583	7,60580492	7,07499981	0	
12	0,00005583	7,60580492	8,04300022	0	
13	0,00005583	7,60580492	9,06200027	0	
14	0,00005583	7,60580492	10,06200027	0	
15	0,00048611	7,60580492	11,05099964	5	
16	0,00259236	51,8873291	12,06299973	10	
17	0,00605681	48,0296402	13,03999996	14	
18	0,01015306	40,70479584	14,03699997	16	
19	0,01439972	24,36406136	15,05799961	16	
20	0,01822861	21,18645287	16,05699921	16	
21	0,02300569	21,7129879	17,07799911	18	
22	0,02859056	21,65665817	18,06599998	20	
23	0,03416097	20,57038879	19,07299995	21	
24	0,03969833	18,88372993	20,06500053	20	
25	0,04511111	16,66581535	21,06900024	19	
26	0,04986916	15,89757061	22,0739994	18	
27	0,05472417	15,28768063	23,04199982	18	
28	0,05986778	14,39074993	24,04899979	16	
29	0,06430278	13,96164608	25,06900024	15	
30	0,06780097	13,61800575	26,06299973	12	

Nota. En la figura se muestra el archivo generado con la información de los PID seleccionados para monitorizar.

Con el fin de asegurar resultados fiables se ha procedido a realizar 6 ensayos de consumo, 3 corresponden a el consumo estándar usando solo gasolina o diésel y los 3 siguientes serán con el aporte de hidrógeno, Además se ha tomado en cuenta para la ejecución de los ensayos de combustible una ruta con caminos de primer nivel, poco tráfico y ausencia de semáforos a fin de poder emular la fase baja y media sin ninguna interrupción, por lo que ha considerado la Panamericana E35, partiendo desde el sector de Salache y finalizando en el sector de Tilipulo con una distancia aproximada de 7.5 Km, ruta que se detalla en la figura 38.

Figura 38

Ruta empleada en el desarrollo de los ensayos de consumo de combustible



Nota. En la figura se detalla la ruta realizada para el ensayo de consumo de combustible misma que se desarrolla en la panamericana E35, parte desde el sector de Salache y finaliza en el sector de Tilipulo con una distancia aproximada a 7.5 Km.

Capítulo IV

Resultados De La Investigación

Prueba De Torque Y Potencia

Para los vehículos se realizaron un total de cuatro pruebas, separadas en dos ensayos con alimentación normal (Diésel y Gasolina), y dos aplicadas el sistema Bi-Dual Fuel (Gasolina + Hidrógeno y Diésel + Hidrógeno), estos datos se presentan tanto en tablas, como en figuras representativas de las curvas de Torque y potencia de los respectivos vehículos.

Motor OTTO

El vehículo es alimentado con Gasolina, específicamente con 'EXTRA' la cual cuenta con 85 octanos, y los resultados se muestran en la Tabla 8 que presentan los datos referidos a torque en ft-lb, potencia en HP, y velocidad del motor en RPM.

Tabla 8

Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor OTTO

Prueba en dinamómetro Motor OTTO (Gasolina)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
2100	19,73	47,9
2200	26,66	63,51
2300	42,01	95,92
2400	46,66	102,1
2500	49,62	104,2
2600	52,6	106,3
2700	55,63	108,2
2800	58,37	109,5
2900	60,47	109,5
3000	62,18	108,8
3100	65,31	110,7

Prueba en dinamómetro Motor OTTO (Gasolina)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
3200	67,99	111,6
3300	71,9	114,4
3400	75,82	117,1
3500	77,17	115,8
3600	79,91	116,6
3700	83,09	117,9
3800	85,8	118,6
3900	88,79	119,6
4000	92,2	121,1
4100	94,89	121,5
4200	97,75	122,2
4300	100,4	122,7
4400	102,9	122,9
4500	105,4	123
4600	107,8	123
4700	109,8	122,7
4800	112,1	122,6
4900	113,8	122
5000	116,3	122,1
5100	119	122,6
5200	121	122,2
5300	122,4	121,3
5400	123,9	120,5
5500	125,5	119,9
5600	126,8	118,9
5700	128	118
5800	129,2	117
5900	130	115,7
6000	130,8	114,5
6100	131	112,8

Prueba en dinamómetro Motor OTTO (Gasolina)

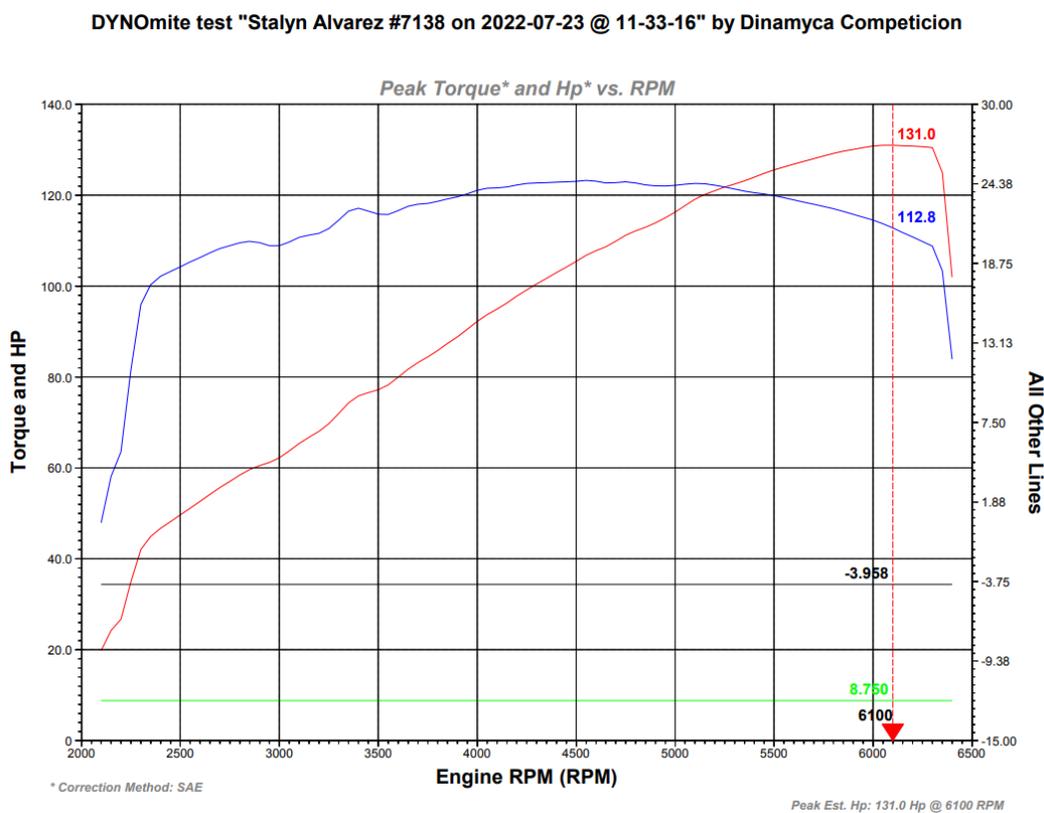
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
6200	130,8	110,8
6300	130,5	108,8

Nota. Datos obtenidos de la prueba del vehículo gasolina en dinamómetro.

Se presenta en la Figura 39, las curvas de torque y potencia, graficadas por el software DYNAMAX.

Figura 39

Curvas de Torque y Potencia en Motor OTTO



Nota. La figura indica la curva de potencia en color rojo, y la curva de torque en color azul.

Motor OTTO más hidrógeno

La alimentación del vehículo será de gasolina más hidrógeno, convirtiéndolo en un sistema Bi-Fuel, sus resultados son presentados en la Tabla 9 y en la Figura 40.

Tabla 9

Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor OTTO más hidrógeno

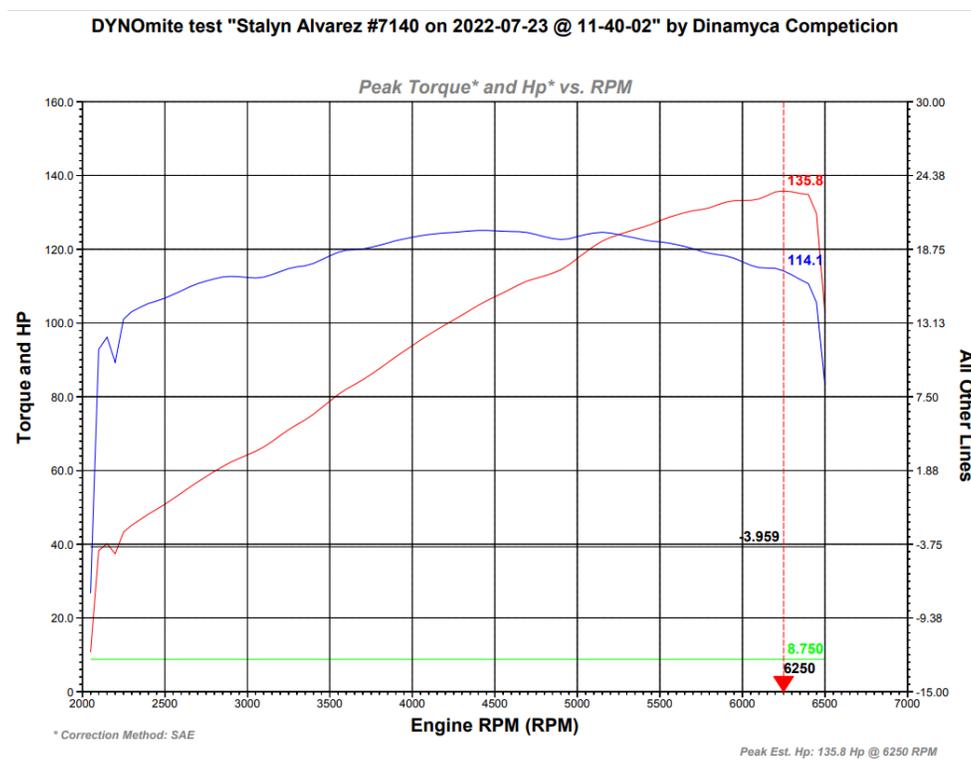
Prueba en dinamómetro Motor OTTO (Gasolina + Hidrógeno)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
2100	38,26	92,84
2200	37,41	89,3
2300	45,11	103
2400	48,1	105,2
2500	50,79	106,7
2600	53,8	108,7
2700	56,88	110,6
2800	59,68	111,9
2900	62,19	112,6
3000	64,17	112,3
3100	66,35	112,4
3200	69,42	113,9
3300	72,38	115,2
3400	75,19	116,1
3500	78,76	118,2
3600	82,04	119,7
3700	84,58	120,1
3800	87,56	121
3900	90,79	122,3
4000	93,85	123,2
4100	96,78	124
4200	99,49	124,4

Prueba en dinamómetro Motor OTTO (Gasolina + Hidrógeno)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
4300	102,1	124,7
4400	104,7	125
4500	107,1	125
4600	109,3	124,8
4700	111,4	124,5
4800	112,7	123,3
4900	114,4	122,6
5000	117,5	123,4
5100	120,8	124,4
5200	123,2	124,4
5300	124,6	123,5
5400	126	122,5
5500	127,7	122
5600	129,2	121,2
5700	130,4	120,1
5800	131,2	118,8
5900	132,7	118,2
6000	133,2	116,6
6100	133,6	115
6200	135,5	114,8
6300	135,6	113

Nota. Datos obtenidos de la prueba del vehículo gasolina más hidrógeno en dinamómetro.

Figura 40

Curvas de Torque y Potencia en Motor OTTO (Gasolina + Hidrógeno)



Nota. Datos de la prueba en dinámómetro realizada por los autores, en esta se indica la curva de potencia en color rojo, y la curva de torque en color azul

Motor Diésel

El vehículo es alimentado con Diésel, y como cuenta con un sistema de Turbo debe desconectarse la toma de vacío del mismo para conectarlo a una toma generadora de vacío, esto con el fin de evitar problemas en las mediciones generadas por el Boost que genera una presión extra en el motor. En la Tabla 10 se muestran los datos recolectados y en la Figura 41 las curvas de torque y potencia.

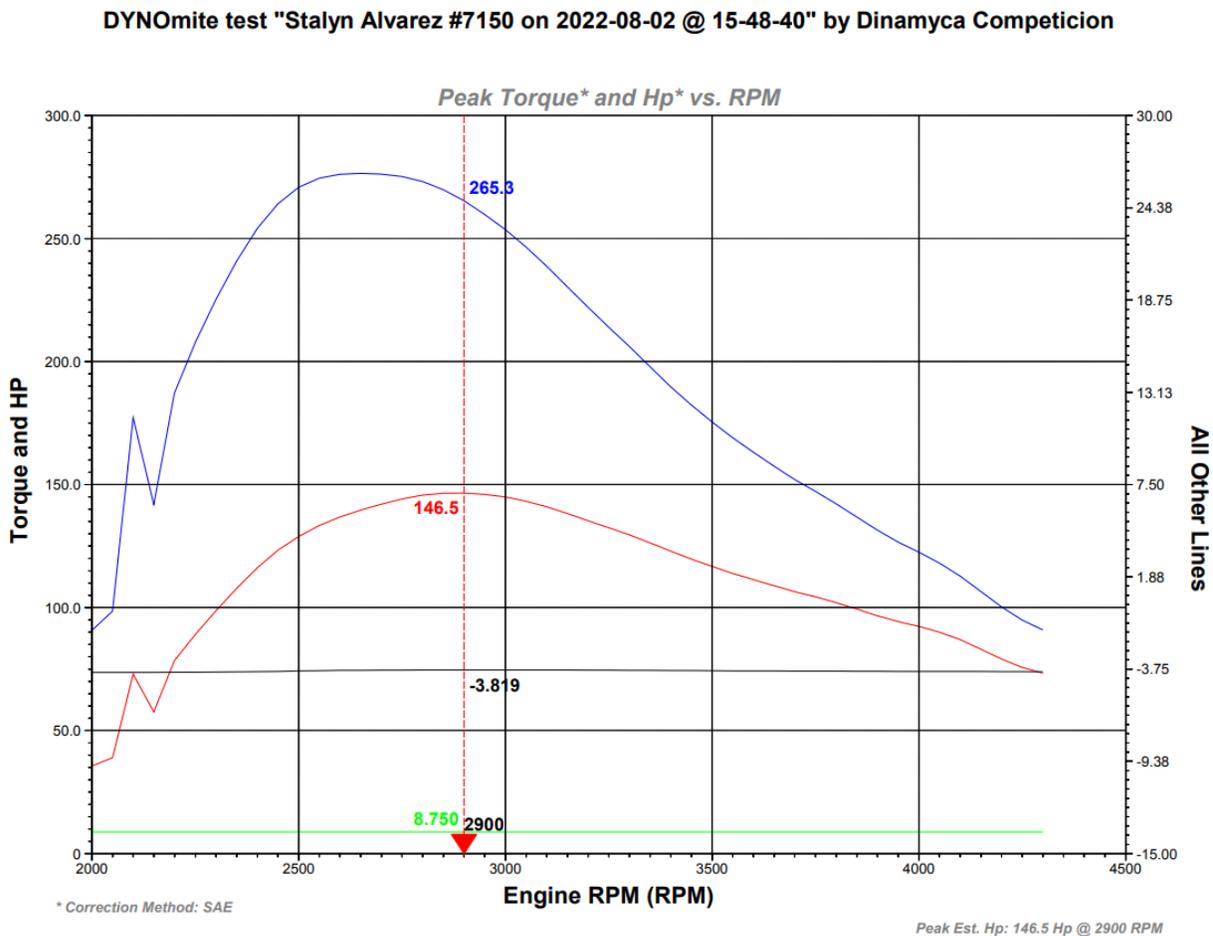
Tabla 10*Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor Diésel*

Prueba en dinamómetro Motor Diésel (Diésel)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
2000	35,49	90,58
2100	72,91	177,1
2200	78,39	187,2
2300	98,6	225,2
2400	116,1	254
2500	128,9	270,7
2600	136,7	276,1
2700	142	276,2
2800	145,6	273,1
2900	146,5	265,3
3000	144,8	253,6
3100	140,9	238,7
3200	135,3	222
3300	129,5	206,1
3400	122,8	189,6
3500	116,7	175,4
3600	111,3	163,1
3700	106,4	152
3800	102	142,1
3900	96,63	131,4
4000	92,25	122,5
4100	86,94	112,7
4200	79,02	100,2
4300	73,26	90,88

Nota. Datos obtenidos de la prueba del vehículo diésel en dinamómetro.

Figura 41

Curvas de Torque y Potencia en Motor Diésel (Diésel)



Nota. En la figura se indica la curva de potencia en color rojo, y la curva de torque en color azul

Motor Diésel más hidrógeno

Los últimos ensayos realizados indican los siguientes datos presentados en la Tabla 11 y las curvas graficadas en la figura 42.

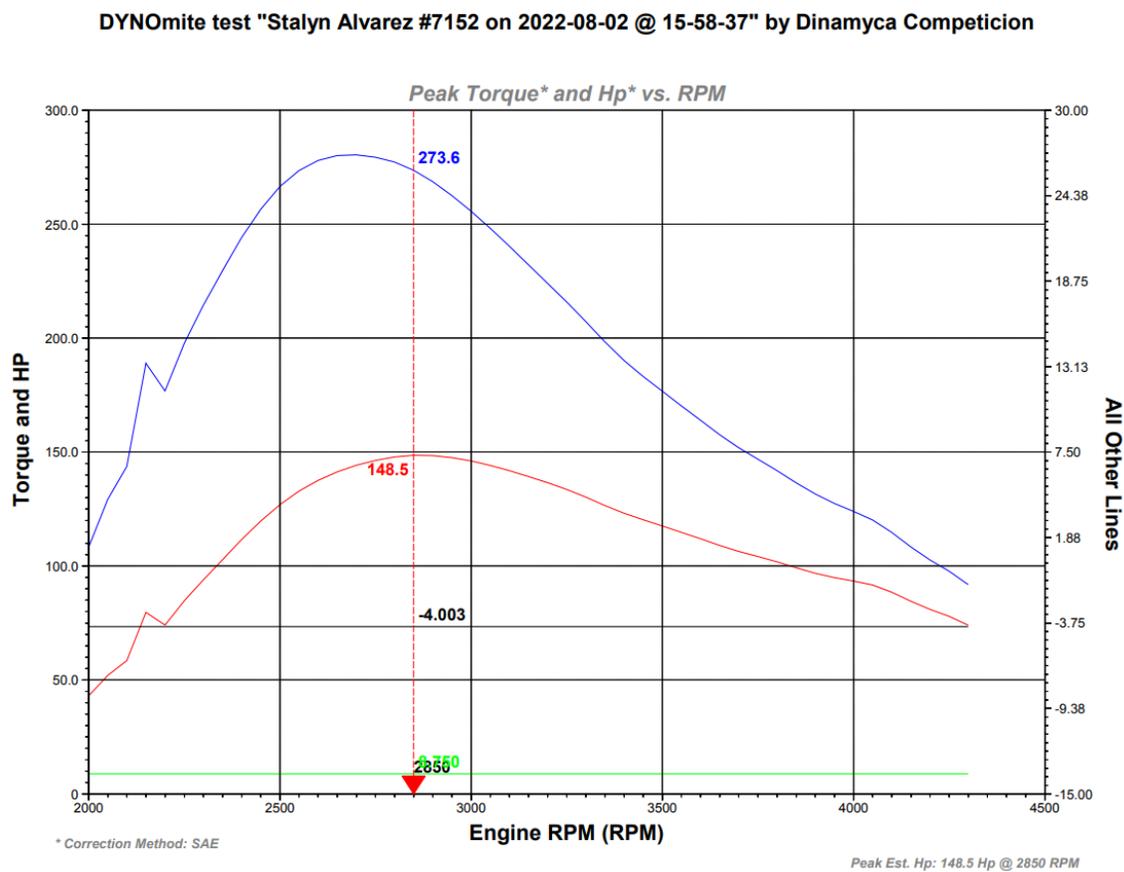
Tabla 11*Datos del Ensayo de Torque y Potencia en Motor Diésel más hidrógeno*

Prueba en dinamómetro Motor Diésel (Diésel + Hidrógeno)		
RPM	Potencia (HP)	Torque (ft-lb)
2000	42,95	108,1
2100	58,4	143,6
2200	74,04	176,8
2300	93,89	214,4
2400	111,5	244
2500	126,8	266,4
2600	137,5	277,9
2700	144,1	280,3
2800	147,7	277,2
2900	148,3	268,6
3000	146	255,6
3100	141,8	240,3
3200	136,5	223,9
3300	130,2	207,2
3400	123,1	190,1
3500	117,5	176,6
3600	111,9	163,9
3700	106,3	151,8
3800	101,7	141,7
3900	96,75	131,6
4000	93,35	123,9
4100	88,49	114,7
4200	80,85	102,5
4300	73,96	91,73

Nota. Datos obtenidos de la prueba del vehículo diésel más hidrógeno en dinamómetro.

Figura 42

Curvas de Torque y Potencia en Motor Diésel (Diésel + Hidrógeno)



Nota. La figura muestra la curva de potencia en color rojo, y la curva de torque en color azul

Pruebas de consumo de combustible

Durante los ensayos de consumo de combustible se ha generado un promedio de 1118 entradas de datos para lo cual va a presentar los datos de los ensayos en intervalos de 60 segundos a fin de que se pueda observar y comprender de mejor manera.

Motor Otto**Tabla 12**

Resumen de datos del ensayo WLTC usando gasolina como única fuente de energía

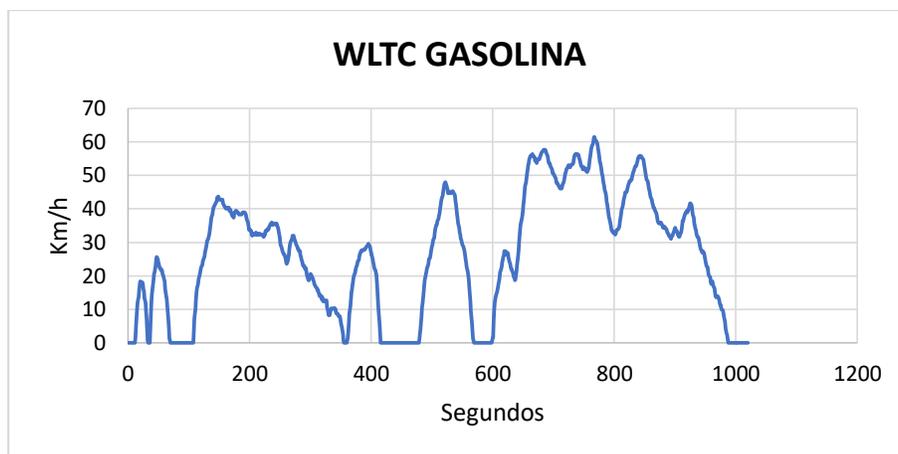
Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
0	0	0
60	17,619	0,210
120	17,955	0,302
180	12,029	0,936
240	10,331	1,514
300	10,080	1,979
360	10,680	2,155
420	10,609	2,480
480	10,685	2,481
540	10,627	3,055
600	10,499	3,243
660	10,692	3,706
720	10,129	4,597
780	9,661	5,531
840	9,662	6,250
900	9,416	6,933
960	9,371	7,488
1018	9,509	7,568

Nota. En la tabla se muestra los valores promedio obtenidos con el desarrollo de 3 ensayos usando solo gasolina como única fuente de energía para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT.

En la figura 43 se muestra el ciclo promedio de conducción WLTC generado durante los 3 ensayos realizados.

Figura 43

Ciclo WLTC obtenido usando gasolina como única fuente de energía



Nota. Esta figura es el resultado promedio del tiempo y velocidad obtenidos durante la ejecución de 3 ensayos WLTC, usando gasolina como única fuente de energía para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT.

Motor Otto + Hidrógeno

Tabla 13

Resumen de datos del ensayo WLTC usando gasolina e hidrógeno como fuente de energía

Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
0	0	0
60	14,979	0,213
120	15,774	0,285
180	10,606	0,901
240	9,374	1,489
300	9,309	1,928
360	9,966	2,099
420	9,752	2,432
480	9,833	2,434

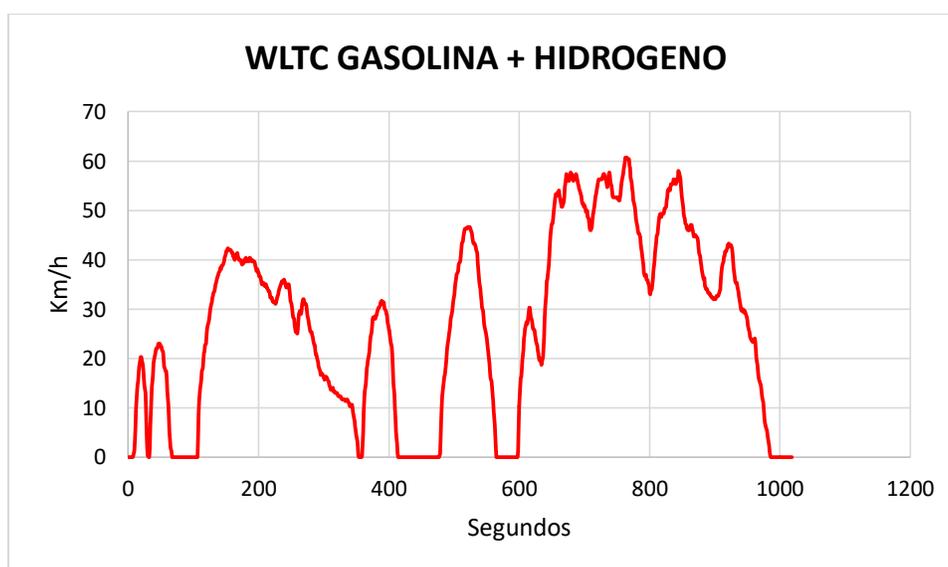
Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
540	9,818	3,011
600	9,856	3,149
660	9,926	3,655
720	9,409	4,517
780	8,950	5,431
840	8,995	6,172
900	8,809	6,889
960	8,894	7,437
1018	8,995	7,520

Nota. En la tabla se muestra los valores promedio obtenidos con el desarrollo de 3 ensayos usando gasolina e hidrógeno como única fuente de energía para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT.

En la figura 44 se muestra el ciclo promedio de conducción WLTC generado durante los 3 ensayos realizados.

Figura 44

Ciclo WLTC obtenido usando gasolina e hidrógeno como fuente de energía



Nota. Esta figura es el resultado promedio del tiempo y velocidad obtenidos durante la ejecución de 3 ensayos WLTC, usando gasolina e hidrógeno como fuente de energía para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT.

Motor Diésel

Tabla 14

Resumen de datos del ensayo WLTC usando diésel como única fuente de energía

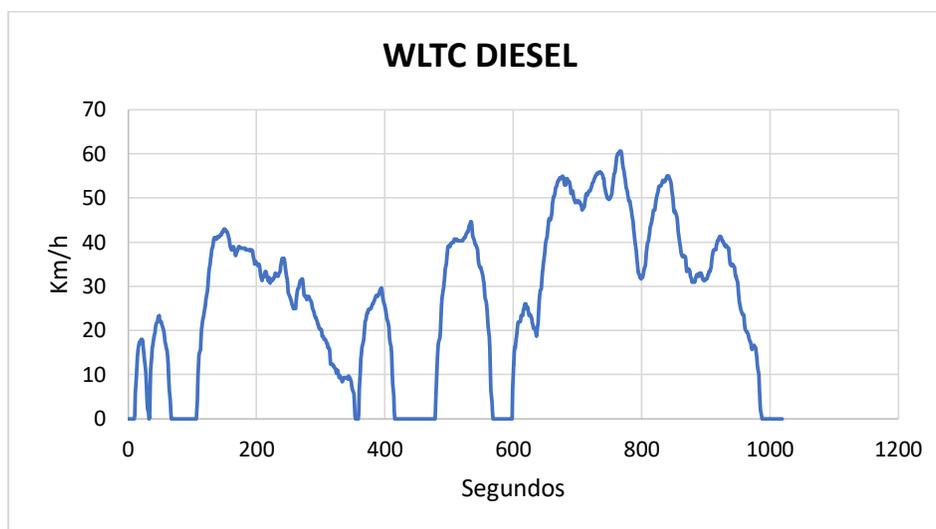
Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
0	0	0
60	7,398	0,218
120	7,303	0,303
180	6,768	0,937
240	6,622	1,496
300	6,230	1,950
360	6,169	2,117
420	6,626	2,451
480	6,308	2,453
540	6,055	3,050
600	6,054	3,261
660	6,063	3,711
720	5,994	4,543
780	5,981	5,434
840	5,962	6,147
900	5,894	6,766
960	5,782	7,339
1018	5,578	7,445

Nota. En la tabla se muestra los valores promedio obtenidos con el desarrollo de 3 ensayos usando solo diésel como única fuente de energía para el vehículo Chevrolet D-max 3.0 CRDI.

En la figura 45 se muestra el ciclo promedio de conducción WLTC generado durante los 3 ensayos realizados.

Figura 45

Ciclo WLTC obtenido usando diésel como única fuente de energía



Nota. Esta figura es el resultado promedio del tiempo y velocidad obtenidos durante la ejecución de 3 ensayos WLTC, usando diésel como única fuente de energía para el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI.

Motor Diésel + hidrógeno

Tabla 15

Resumen de datos del ensayo WLTC usando diésel e hidrógeno como fuente de energía

Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
0	0	0
60	7,099	0,234
120	6,984	0,328
180	6,472	0,971
240	6,484	1,541
300	6,164	1,970

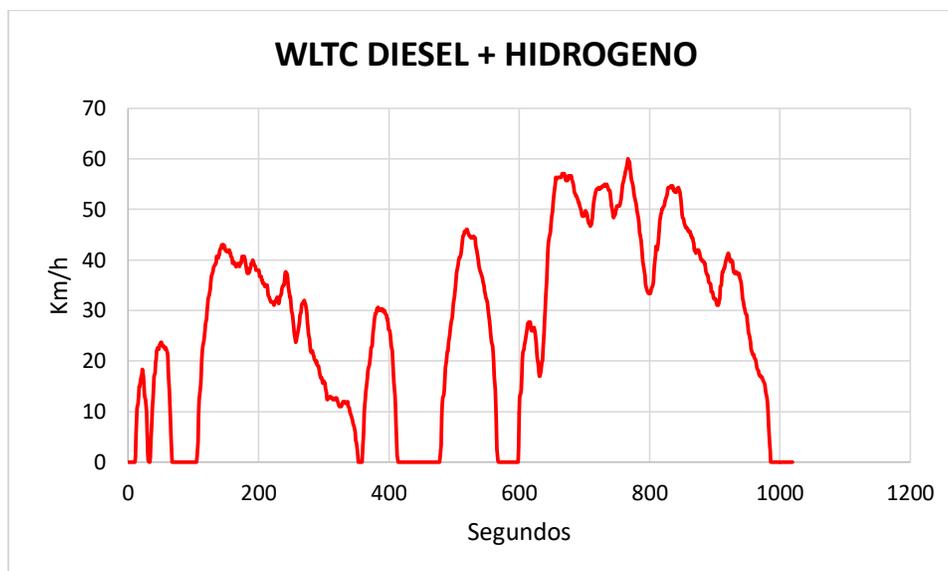
Tiempo (Segundos)	Promedio de viaje (l/100 Km)	Distancia Recorrida (Km)
360	5,755	2,140
420	5,794	2,465
480	5,482	2,467
540	5,646	3,048
600	5,650	3,237
660	5,681	3,758
720	5,551	4,605
780	5,482	5,466
840	5,430	6,193
900	5,318	6,873
960	5,282	7,415
1018	5,286	7,514

Nota. En la tabla se muestra los valores promedio obtenidos con el desarrollo de 3 ensayos usando diésel e hidrógeno como única fuente de energía para el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI.

En la figura 46 se muestra el ciclo promedio de conducción WLTC generado durante los 3 ensayos realizados.

Figura 46

Ciclo WLTC obtenido usando diésel e hidrógeno como fuente de energía



Nota. Esta figura es el resultado promedio del tiempo y velocidad obtenidos durante la ejecución de 3 ensayos WLTC, usando diésel e hidrógeno como fuente de energía para el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI.

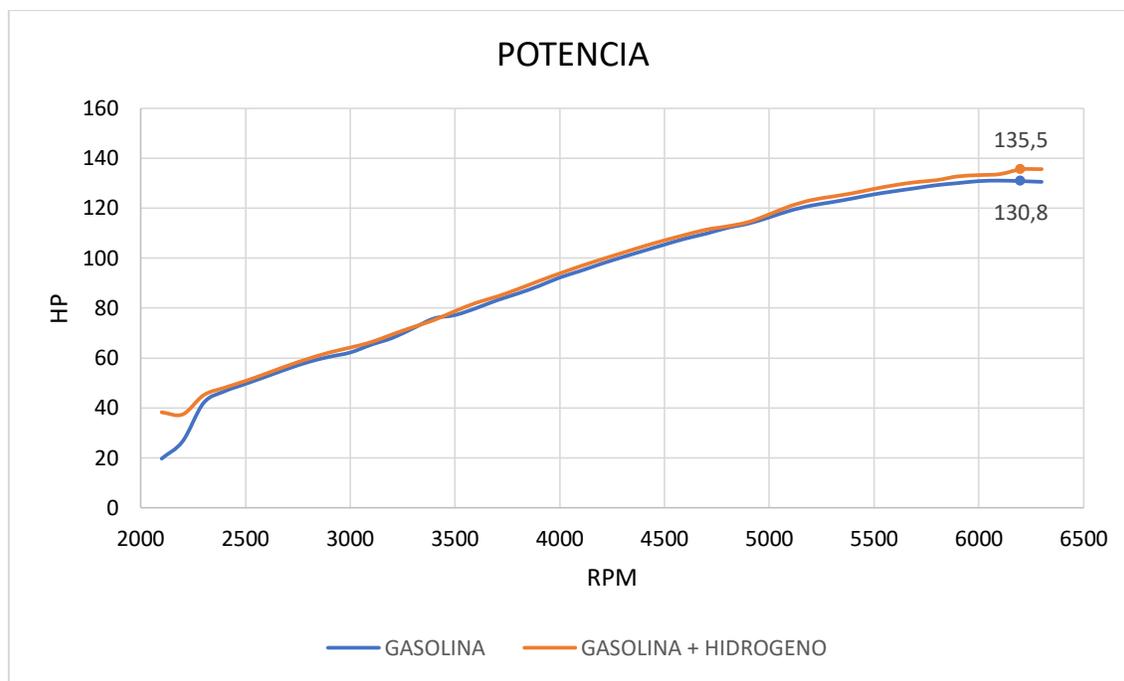
Análisis de datos

Torque y Potencia

Los ensayos de torque y potencia indican la variación de estos parámetros, en base a su combustible o combustibles de alimentación, mostrando de manera clara que existe un incremento tanto en el par como en la potencia de los vehículos al utilizar el sistema Bi Fuel y Dual Fuel, añadiendo hidrógeno a la mezcla aire – combustible, para una comprensión y entendimiento claro respecto a esta variación se presentan las gráficas de la Figura 47 que indican la comparación entre las curvas del ensayo en dinamómetro.

Figura 47

Comparación curvas de potencia del Motor OTTO normal y aplicado el hidrógeno



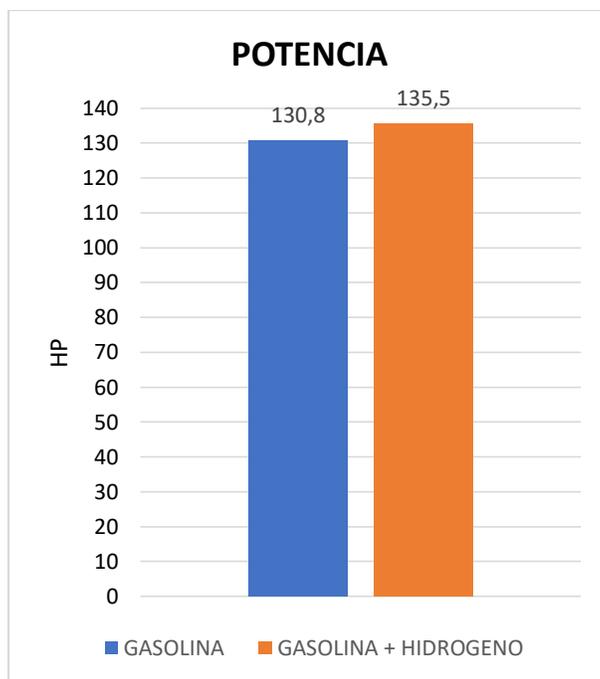
Nota. En la figura se presenta con una línea azul a la potencia registrada por el vehículo solamente con gasolina, y con línea roja la potencia del vehículo con alimentación de gasolina más hidrógeno.

En esta gráfica se aprecia de manera clara la variación entre las curvas de potencia para el vehículo Kia Sportage R, que cuenta con el motor OTTO, en donde se puede apreciar como la potencia cuando esta alimentado solo con gasolina es menor, a la potencia neta del vehículo cuando cuenta con el sistema Bi Fuel.

Como complemento en la Figura 48, se indica la diferencia entre los picos de potencia alcanzados por el vehículo tanto con gasolina, como con el sistema Bi Fuel gasolina más hidrógeno, que indica un aumento de 4,7 Hp, equivalente a un aumento del 3.59% respecto a la potencia máxima generada por el vehículo en condiciones estándar.

Figura 48

Comparación entre los picos de potencia máxima generadas por el motor OTTO

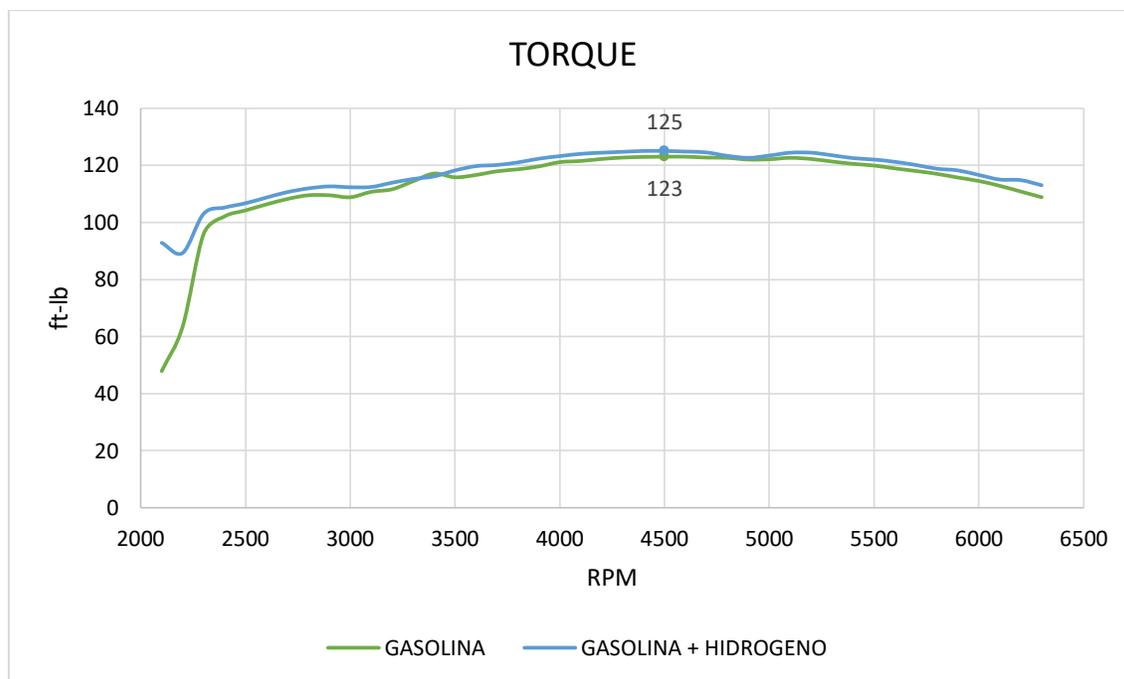


Nota. En la figura se muestra los valores generados por el Kia Sportage R alimentado tanto con el sistema estándar, como con el sistema Bi Fuel

Para los datos de torque se realizó el mismo análisis comparativo, mostrando las curvas de torque y sus valores de par máximos registrados por el dinamómetro, estas se presentan en las Figuras 49 y 50, respectivamente.

Figura 49

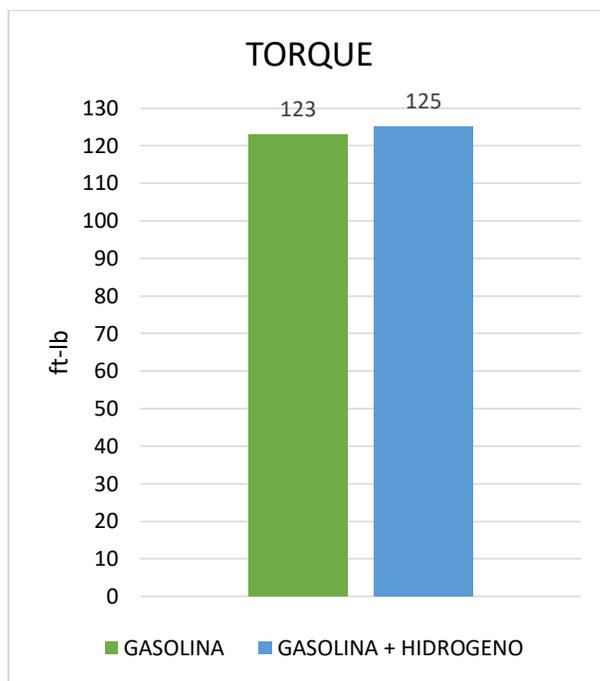
Comparación curvas de torque del Motor OTTO normal y aplicado el hidrógeno



Nota. La figura presenta con una línea verde al par registrado por el vehículo con gasolina, y con línea azul el torque del vehículo con alimentación de gasolina más hidrógeno.

Figura 50

Comparación entre los valores de par máximo generadas por el motor OTTO



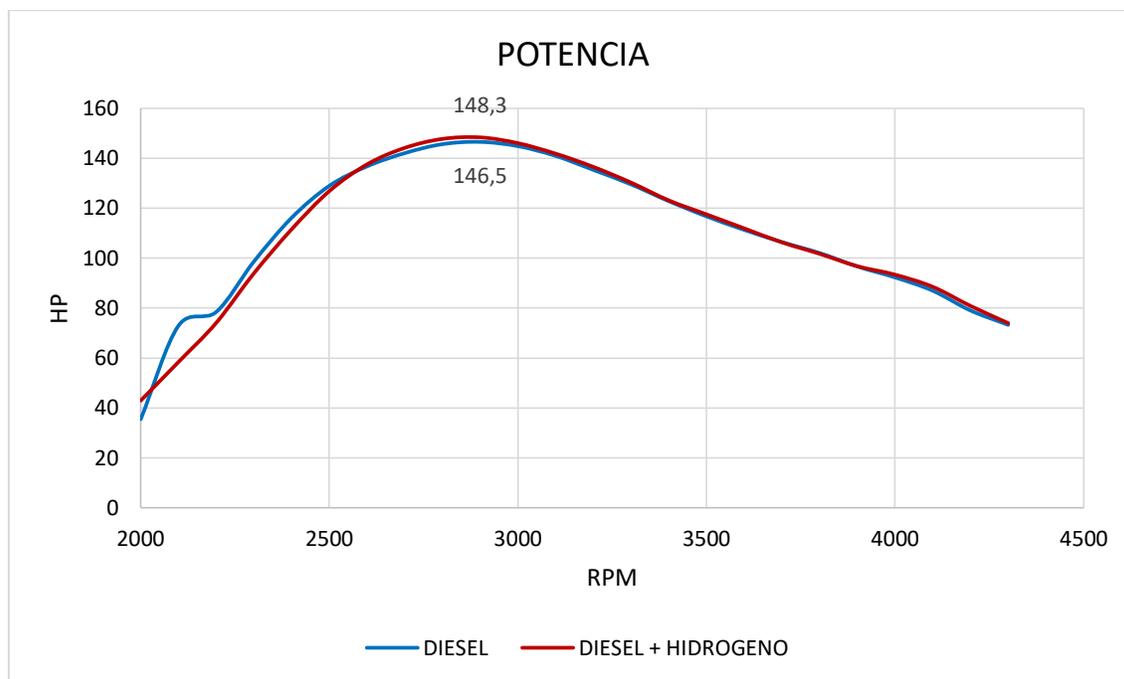
Nota. La figura indica los valores de par generados por el Kia Sportage R alimentado tanto con el sistema estándar, como con la implementación de hidrógeno a la carga de combustible.

La curva de torque con la adición del hidrógeno a la gasolina, aumenta los valores de par generados por el vehículo Kia Sportage R, de manera constante y continua durante todo su funcionamiento. Y los valores de torque aumentan en 2 ft-lb, teniendo un aumento de 1,63% con respecto al par generado con el vehículo cuando la carga solo contiene gasolina.

En la camioneta Chevrolet D-MAX 3.0 CRDI, se realizó el mismo análisis gráfico presentando tanto las curvas de torque y potencia, así como los picos máximos registrados durante los ensayos en dinamómetro, por lo que se presenta en las Figuras 51 y 52, los datos de potencia y en las Figuras 53 y 54, los datos de torque. Además, se incluye su respectivo análisis debajo de cada una de estas figuras.

Figura 51

Comparación curvas de potencia del Motor Diésel normal y aplicado el hidrógeno

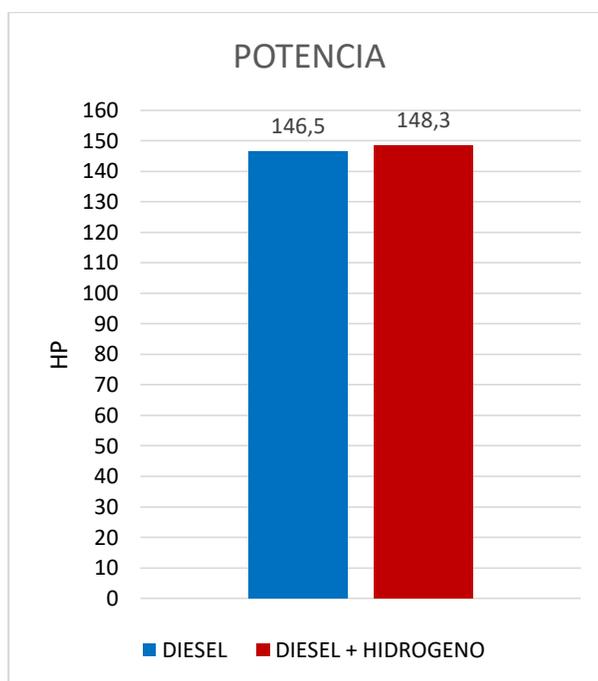


Nota. En la figura presenta con una línea azul a la potencia registrada por el vehículo solamente con gasolina, y con línea roja la potencia del vehículo con alimentación de gasolina más hidrógeno.

La gráfica indica como la potencia producida por el motor diésel mostrando que las curvas se sobreponen en la mayoría del ensayo en dinamómetro, teniendo un leve aumento en el régimen de las 2900 revoluciones, que muestra un aumento entre sus picos, los cuales son analizados en la figura 52.

Figura 52

Comparación entre los picos de potencia máximo generadas por el motor Diésel

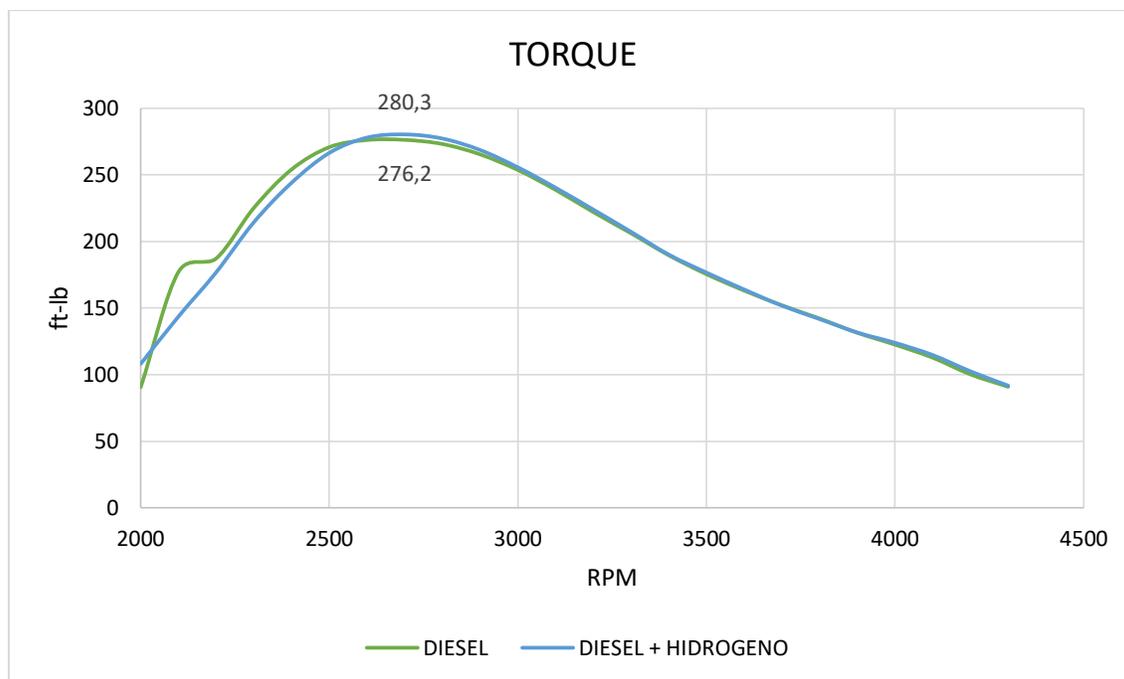


Nota. La figura muestra los valores de potencia generados por la Chevrolet D-MAX 3.0 CRDI alimentado tanto con el sistema estándar, como con el sistema Dual Fuel.

Los datos presentados en la figura indican que el máximo valor de potencia neta generada por la camioneta es de 146,5 Hp en condiciones normales y aumenta 1,8 Hp, aproximadamente un 1,23%, al adicionar hidrógeno a la carga de combustible.

Figura 53

Comparación curvas de torque del Motor Diésel normal y aplicado el hidrógeno

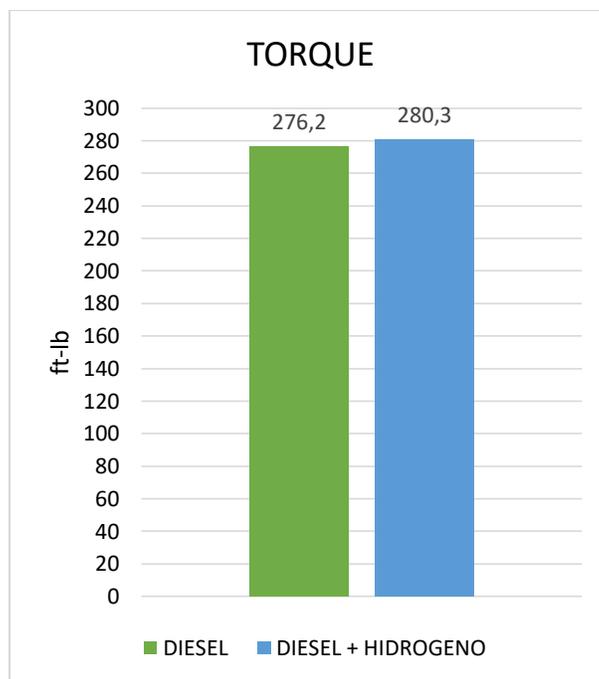


Nota. En la figura se presenta en la línea verde el par motor registrado por el vehículo con diésel como único combustible, y con línea azul el torque del vehículo con el sistema Dual Fuel, diésel más hidrógeno.

El torque o par motor producido por el motor Diésel durante los ensayos muestran la variación de los valores registrados, puesto que sus curvas son prácticamente iguales, exceptuando picos en los que el sistema Dual Fuel eleva el par motor.

Figura 54

Comparación entre los valores de par máximo generadas por el Motor Diésel



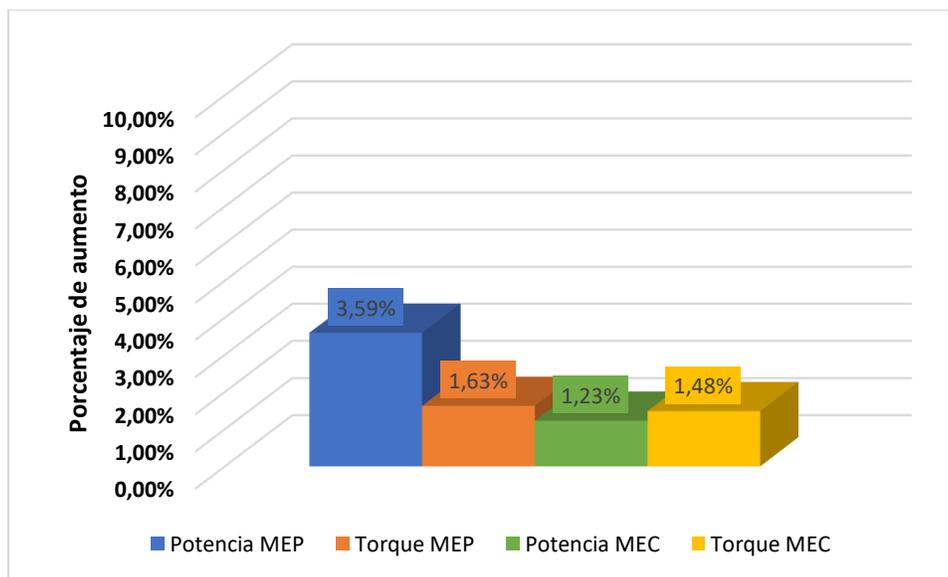
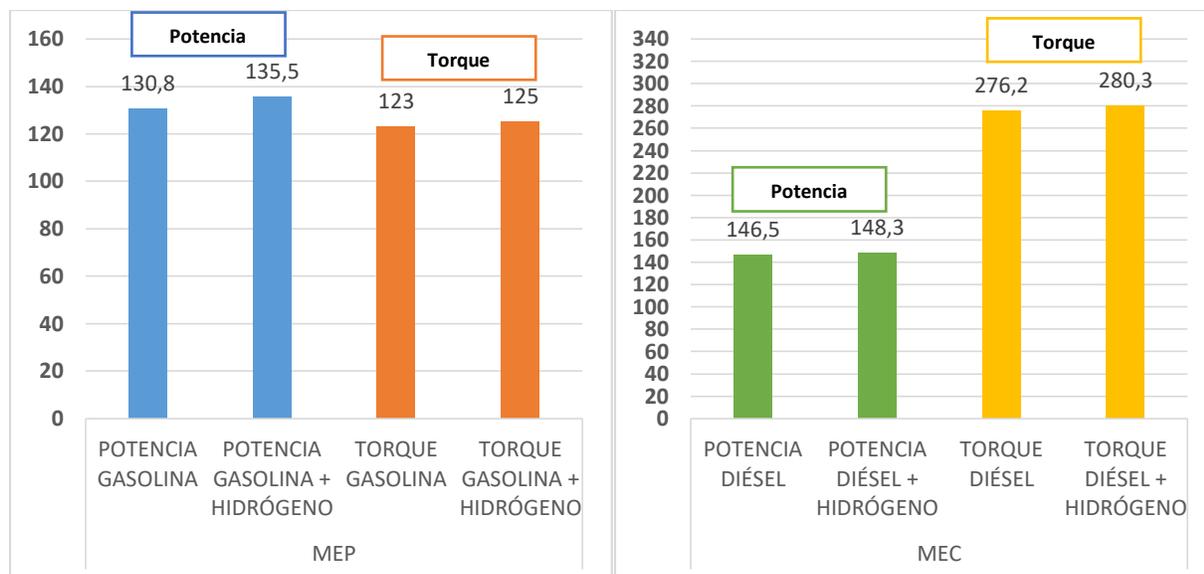
Nota. En la figura se muestra los valores de par generados por la camioneta Chevrolet D-MAX 3.0 CRDI alimentado tanto con diésel, como con la implementación del sistema Dual Fuel, diésel más hidrógeno.

Los valores máximos de torque registrados por el dinamómetro son 276,2 ft-lb, con el sistema estándar de alimentación y 280,3 ft-lb, con el sistema dual fuel, dando una variación de 4,1 ft-lb correspondientes a un aumento del 1.48% frente al par motor cuando el vehículo solo utiliza diésel como combustible.

Se muestra en la Figura 55 un resumen de los valores registrados de torque y potencia para los motores MEP y MEC, y el aumento al aplicar los sistemas Bi Fuel y Dual Fuel al sistema de admisión.

Figura 55

Aumento porcentual del torque y potencia de los motores con la implementación de hidrógeno



Nota. En la figura se indica el resumen de los valores y el aumento porcentual de los parámetros de torque y potencia.

Se verifica que el uso de hidrógeno para el enriquecimiento de la mezcla aire combustible ha generado un aumento tanto en torque y en la potencia neta de los motores.

Se comprobó como la potencia en el vehículo con MEP, obtuvo el mayor incremento al adicionar hidrógeno a la carga de combustible, mientras que la potencia del MEC fue la que registro un menor aprovechamiento con la adición del sistema Dual fuel (Diésel + Hidrógeno).

El hidrógeno eleva el parámetro característico más relevante de acuerdo al tipo de motor que se aplique, dado que en el MEP se consigue un incremento superior de la potencia, en cambio en el MEC el máximo aumento lo tuvo el torque, ya que este tipo de motor necesita de un mayor par motor.

Consumo de combustible

Motor Otto.

Tabla 16

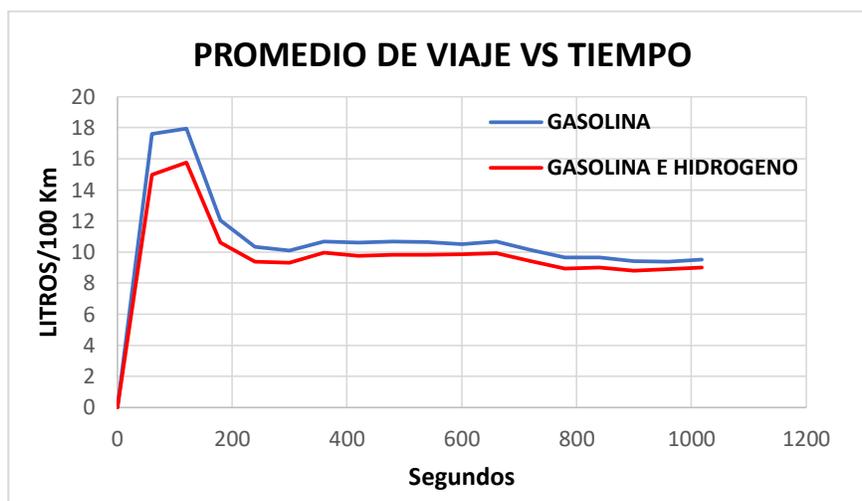
Resumen de los datos obtenidos en el ensayo WLTC para gasolina y gasolina e hidrógeno

Parámetro	Gasolina	Gasolina e hidrógeno
Distancia recorrida (Km)	7,568	7,520
Promedio de viaje (l/100 Km)	9,509	8,994

Nota. En la presente tabla se muestra un resumen de los datos obtenidos para el ensayo WLTC de consumo de combustible usando gasolina y gasolina e hidrógeno en el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT.

Figura 56

Gráfica comparativa del consumo en función del tiempo transcurrido para el vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT

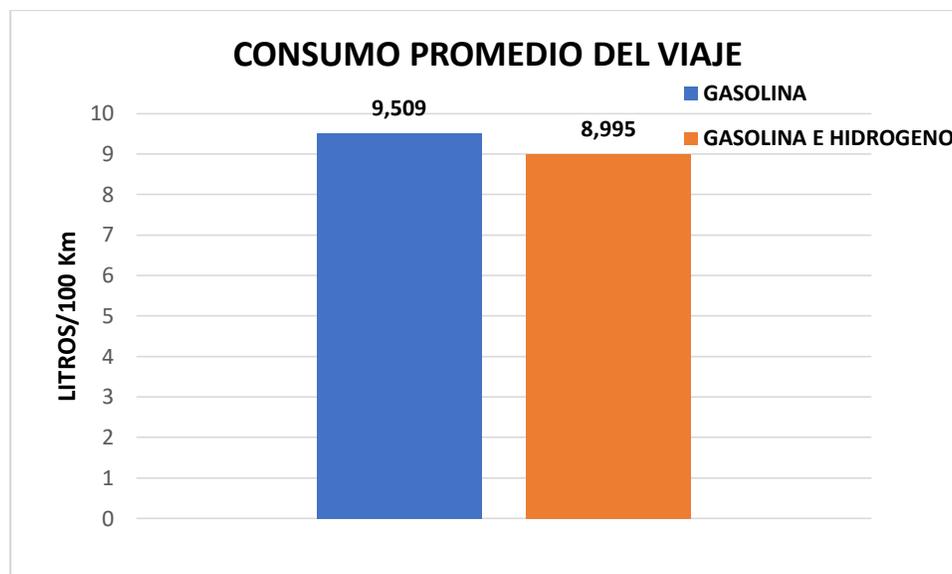


Nota. En la figura se muestra el consumo obtenido del vehículo Kia Sportage R 2.0 GLS MT durante la ejecución de los ensayos de consumo de combustible.

Como se puede apreciar en la figura 56 mediante el uso del hidrógeno como una fuente adicional de energía para el motor de combustión interna, es notable como el consumo en la fase baja que son los primeros 589 segundos de del ensayo disminuye notablemente, y durante el periodo restante de igual forma se evidencia una disminución del consumo de combustible respecto al uso de gasolina como único combustible, sin embargo al inicio de la prueba donde se emula el consumo urbano del vehículo, es donde más se nota el ahorro de combustible en base a la evidencia recabada se puede decir que con el uso del hidrógeno en un vehículo a gasolina se tendrá mejores consumo en ciudad, pues es aquí en donde la mayoría de automotores tiene sus mayores consumos debido a la poca velocidad a la que transitan y las constantes paradas e inicios de partida que deberán hacer en un ciclo real de manejo.

Figura 57

Consumo promedio de viaje usando gasolina y gasolina e hidrógeno



Nota. En el gráfico se muestra una comparativa del consumo promedio al final del viaje obtenido en el ensayo de combustible WLTC usando gasolina y gasolina e hidrógeno.

Considerando el consumo promedio de viaje para la prueba gasolina y gasolina e hidrógeno indicado en la Figura 57 se evidencia un ahorro del 5,41% de combustible al utilizar hidrógeno esta disminución si bien no es un cambio drástico, se puede considerar sus beneficios a largo plazo.

Tomando como base una distancia recorrida de 25 000 Km y los consumos promedio de viaje obtenidos para gasolina y gasolina e hidrógeno el combustible necesario y su costo considerando el uso de gasolina extra de 85 octanos con un precio de 2,40 USD a fecha de 06 de agosto del 2022 en el Ecuador sería respectivamente:

Para uso único de gasolina

100 Km 9,509 l

$$25\ 000\ Km \quad x$$

$$x = \frac{25\ 000\ Km * 9,509\ l}{100\ Km}$$

$$x = 2377,25\ l = 628,071\ galones$$

El costo total en combustible para recorrer 25 000 Km usando gasolina seria de 1507,37 USD

Para gasolina e hidrógeno

$$100\ Km \quad 8,994\ l$$

$$25\ 000\ Km \quad x$$

$$x = \frac{25\ 000\ Km * 8,994\ l}{100\ Km}$$

$$x = 2248,5\ l = 594,055\ galones$$

El costo total en combustible para recorrer 25 000 Km usando gasolina e hidrógeno seria de 1425,73 USD

La diferencia del 5,41% obtenida no representaría un cambio inmediato, pero a largo plazo como el hipotético calculado una vez recorrido 25 000 Km se ha ahorrado 34,016 galones de combustible mismos que representan un valor de 81,64 USD.

Recuperación de la inversión.

Asumiendo el gasto inicial del kit de hidrógeno vehicular que corresponde a 350 USD, entonces para recuperar la inversión se deberá recorrer.

$$81,64\ USD \quad 25\ 000\ Km$$

$$350\ USD \quad x$$

$$x = \frac{350 \text{ USD} * 25\,000 \text{ Km}}{81,64 \text{ USD}}$$

$$x = 107177,85 \text{ Km}$$

Motor diésel

Tabla 17

Resumen de los datos obtenidos en el ensayo WLTC para diésel y diésel e hidrógeno

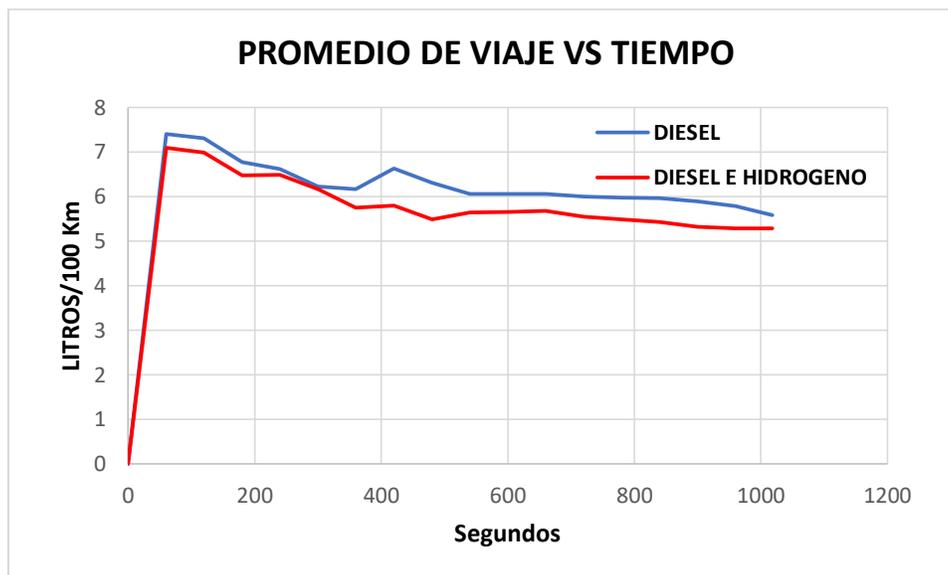
Parámetro	Diésel	Diésel e hidrógeno
Distancia recorrida (Km)	7,445	7,514
Promedio de viaje (l/100 Km)	5,758	5,286

Nota. En la presente tabla se muestra un resumen de los datos obtenidos para el ensayo WLTC de consumo de combustible usando diésel y diésel e hidrógeno en el vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI.

Figura 58

Gráfica comparativa del consumo en función del tiempo transcurrido para el vehículo Chevrolet D-Max

3.0 CRDI

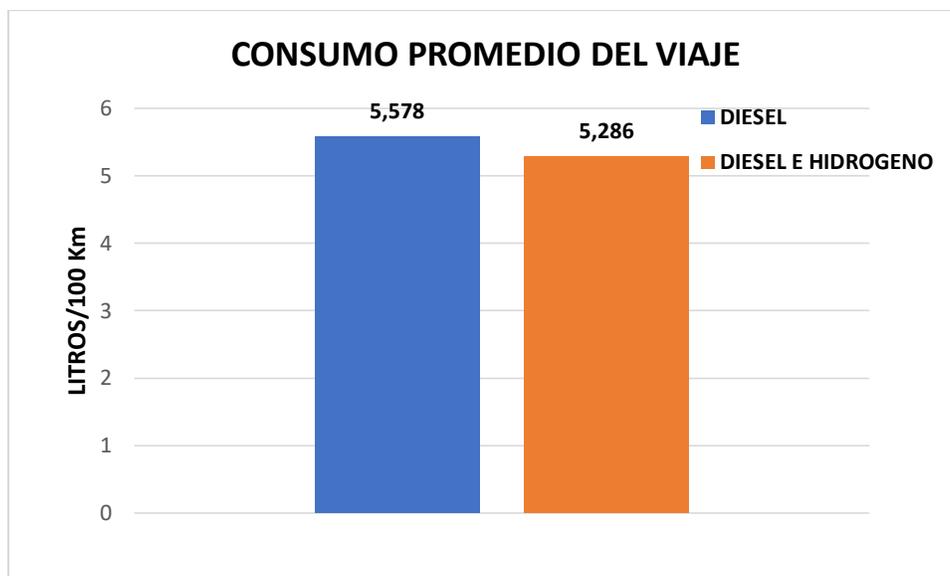


Nota. En la figura se muestra el consumo obtenido del vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDI durante la ejecución de los ensayos de consumo de combustible.

De forma similar al comportamiento visto en el motor Otto, con el uso del hidrógeno ocurre una disminución en el consumo de combustible, pero para el motor diésel se mira que en el intervalo de 400 a 600 segundos en donde el vehículo permanece detenido en ralentí es donde más diferencia ha existido entre los 2 ensayos, y a partir de los 600 segundos que representa la fase media del ensayo referida a una emulación de un ciclo de conducción extra urbano se nota de igual manera una ligera disminución del consumo respecto al uso de diésel como fuente única de energía, dando así a entender que en el motor diésel cuando se adicione hidrógeno este va a obtener un buen resultado cuando el vehículo se encuentre transitando en ciudad ya que en este tipo de conducción es habitual que existan periodos prolongados donde el vehículo permanecerá detenido en ralentí.

Figura 59

Consumo promedio de viaje usando diésel y diésel e hidrógeno



Nota. En la figura se muestra una comparativa del consumo promedio al final del viaje obtenido en el ensayo de combustible WLTC usando diésel y diésel e hidrógeno.

De acuerdo a los consumos de combustible obtenidos mismo que han sido representados en la figura 59 se aprecia una disminución con el uso de hidrógeno que influye en el consumo promedio de viaje con un valor de 5,23%, un resultado ligeramente menor que el obtenido en el motor Otto no obstante, hay que tomar en cuenta que el motor diésel tiene un cilindraje de 3000 cm³, 1000 cm³ más que su contraparte a gasolina.

Desde el mismo punto de vista en el que se tomó el ahorro de combustible para el motor Otto, para este caso de forma similar el consumo promedio obtenido no representa un ahorro considerable de forma inmediata, si no que este más bien podrá notarse a largo plazo.

Tomando como base una distancia recorrida de 25 000 Km y los consumos promedio de viaje obtenidos para diésel y diésel e hidrógeno, el combustible necesario y su costo considerando el uso de

diésel con un precio de 1,75 USD a fecha de 06 de agosto del 2022 en el Ecuador serían respectivamente:

Para uso único de diésel

$$100 \text{ Km} \quad 5,578 \text{ l}$$

$$25\ 000 \text{ Km} \quad x$$

$$x = \frac{25\ 000 \text{ Km} * 5,578 \text{ l}}{100 \text{ Km}}$$

$$x = 1394,5 \text{ l} = 368.428 \text{ galones}$$

El costo total en combustible para recorrer 25 000 Km usando diésel sería de 644,75 USD

Para diésel e hidrógeno

$$100 \text{ Km} \quad 5,286 \text{ l}$$

$$25\ 000 \text{ Km} \quad x$$

$$x = \frac{25\ 000 \text{ Km} * 5,286 \text{ l}}{100 \text{ Km}}$$

$$x = 1321,5 \text{ l} = 349,141 \text{ galones}$$

El costo total en combustible para recorrer 25 000 Km usando diésel e hidrógeno sería de 610,99 USD

A largo plazo en una distancia de 25 000 Km existe un ahorro de 19,287 galones de combustible mismos que van a representar un valor de 33,75 USD.

Recuperación de la inversión

Asumiendo el gasto inicial del kit de hidrógeno vehicular que corresponde a 350 USD, entonces para recuperar la inversión se deberá recorrer.

$$33,75 \text{ USD} \quad 25\,000 \text{ Km}$$

$$350 \text{ USD} \quad x$$

$$x = \frac{350 \text{ USD} * 25\,000 \text{ Km}}{33,75 \text{ USD}}$$

$$x = 259259,26 \text{ Km}$$

Tiempo para recuperar la inversión

Gracias a estudios como el realizado por la Environmental Protection Agency, en Estados Unidos, concluye que el recorrido promedio de un vehículo es de 24 000 Km al año por tanto en la tabla 18 se detalla el tiempo que debe trascurrir asumiendo dicho recorrido promedio para recuperar la inversión inicial tanto en el vehículo gasolina como el diésel.

Tabla 18

Tiempo necesario para recuperar la inversión del kit de hidrógeno

Vehículo	Distancia necesaria para recuperar la inversión (Km)	Promedio de recorrido anual (Km)	Tiempo necesario (años)
Gasolina	107177,85	24 000	4,46
Diésel	259259,26	24 000	10,8

Nota. En la presente tabla se detalla el tiempo en años en que se recuperara la inversión.

Consumo específico

Motor Otto

En la tabla 19 se detallan los valores para el consumo específico según la ficha del vehículo, así como los obtenidos con la utilización del sistema bi-fuel de inyección de hidrógeno.

Tabla 19

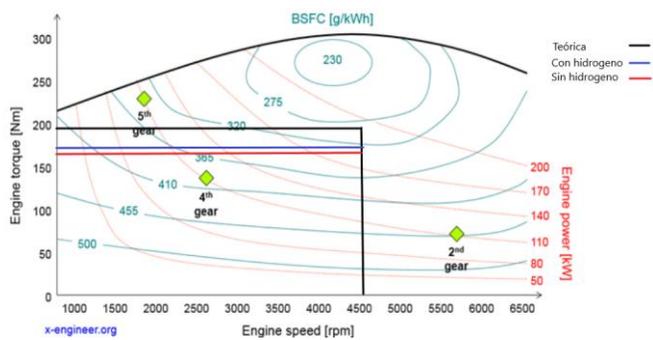
Consumo específico motor Otto

Condición	Régimen de giro (rpm)	Torque (Nm)	Consumo específico (g/kWh)
Según la ficha			
proporcionada por el fabricante	4600	195	290
Sin hidrógeno	4600	164,05	335
Con hidrógeno	4600	168,8	325

Nota. En la tabla se presentan los valores del consumo específico obtenidos.

Figura 60

Consumo específico motor Otto



Nota. En la figura se detalla el consumo específico teórico además del obtenido con y sin hidrógeno.

Se puede apreciar la baja variación del consumo específico que disminuye un 2,98%, con el uso del sistema de inyección bi-fuel de hidrógeno, no obstante, esos 10 g/kWh representan un ahorro en el consumo general del vehículo a largo plazo.

Motor diésel

En la tabla 20 se detallan los valores para el consumo específico obtenidos con la utilización del sistema dual fuel de inyección de hidrógeno.

Tabla 20

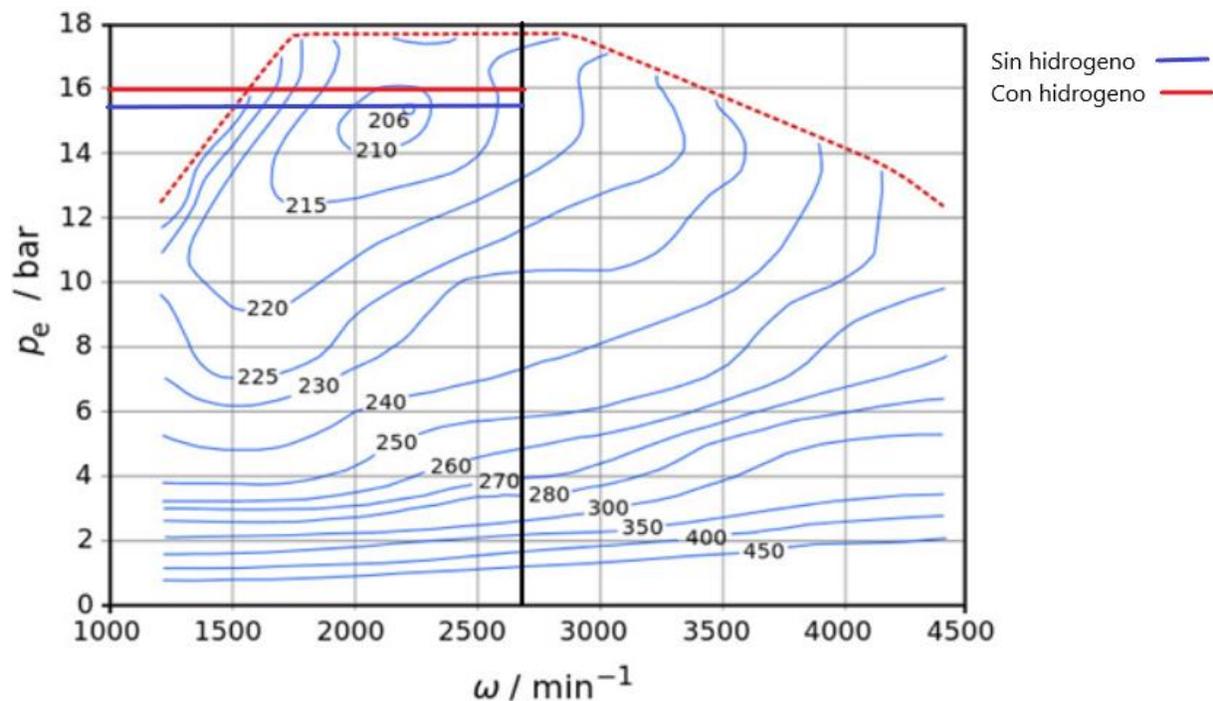
Consumo específico motor diésel

Condición	Régimen de giro (rpm)	Torque (Nm)	PME (bar)	Consumo específico (g/KWh)
Sin hidrógeno	2700	372,84	15,62	212,5
Con hidrógeno	2700	379,63	15,90	211,6

Nota. En la tabla se presentan los valores del consumo específico obtenidos.

Figura 61

Consumo específico motor diésel



Nota. En la figura se detalla el consumo específico obtenido con y sin hidrógeno.

Como se evidencia el consumo específico para el motor de encendido por compresión casi no tiene variación significativa con el uso del hidrógeno respectivamente para el régimen de revoluciones donde se obtuvo el mayor torque del motor, dando a entender que el motor aprovechara mejor el aumento de torque a bajas revoluciones pues como se puede observar en la figura 61 los mejores consumos se encuentran en el intervalo de 1600 a 2200 revoluciones.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos

Para el desarrollo de “Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, en los parámetros de desempeño de los motores de combustión interna de encendido por compresión” se han empleado los siguientes recursos humanos, tecnológicos y materiales.

Recursos humanos

En la tabla 21 se detalla a todas las personas que han aportado con su conocimiento para el desarrollo de la investigación.

Tabla 21

Recursos humanos

Nombre	Función
Sr. Stalyn Alvarez	Investigador
Sr. José Yacelga	Investigador
	Investigador
Ing. Leonidas Quiroz	Director del trabajo de unidad de integración curricular

Nota. En la tabla se detalla a las personas que han aportado a la investigación.

Recursos tecnológicos

En la tabla 22 se muestra todos los equipos utilizados para la investigación, así como la función que desempeñaron.

Tabla 22*Recursos tecnológicos*

Equipo	Función
Interfaz ELM 327	Equipo intermediario de comunicación entre la PCM y la aplicación
Torque Lite	Aplicación usada para las pruebas de consumo de combustible
Dinamómetro y software Dinomax	Equipo utilizado para el desarrollo de los ensayos de torque y potencia
Paquete office	Software de procesamiento de datos para escritura

Nota. En la tabla mostrada se detalla los recursos tecnológicos empleados.

Recursos materiales

En la tabla 23 se detalla los insumos materiales que han sido necesarios para el desarrollo de la investigación.

Tabla 23*Recursos materiales*

Cantidad	Material
1	Kit de hidrógeno vehicular
1	Dinamómetro
1	Cañerías y abrazaderas
1	ELM 327

Nota. En la presente tabla se detalla los recursos materiales empleados en la investigación.

Financiamiento

Para el desarrollo de la investigación ha sido necesario cierto aporte económico a fin solventar gastos en insumos necesarios para continuar con la misma, dichos gastos se detallan en la tabla 24.

Tabla 24

Gastos de la investigación

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Kit de hidrógeno vehicular	1	350	350
ELM 327	1	15	15
Dinamómetro	2	56	112
Galones de gasolina	20	2,40	48
Galones de diésel	10	1,75	17,5
	Total		542,5

Nota. En la tabla se detallan los gastos de la investigación.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se determinó la incidencia de la inyección de hidrógeno para el sistema bi-fuel en motores de encendido provocado y del sistema dual fuel para motores de encendido por compresión, obteniendo como resultado de la investigación, mejores parámetros de desempeño referidos al consumo de combustible en los motores de encendido provocado, mismo que usan el sistema bi fuel de inyección hidrógeno.

Se fundamentó teóricamente los tipos de hidrógeno que existen, así como las bases científicas de la electrolisis, a fin de comprender de mejor manera como este proceso se origina y que aspectos son los que intervienen en él.

Se implementó exitosamente el kit de generación de hidrógeno vehicular, siendo este instalado sin novedad alguna en los vehículos de prueba obteniendo una generación constante de hidrógeno para ambos casos.

Se ejecutaron ensayos para la determinación de torque y potencia tomando como guía la normativa SAE J1349, dichos ensayos han sido realizados en los vehículos para comparar la incidencia del sistema de inyección de hidrógeno, para de esta manera poder obtener así un panorama de como este sistema va a influir a fin de determinar el antes y después.

Se desarrolló un protocolo para la determinación de la prueba de combustible, el mismo que está sustentado en los ensayos WLTC “Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure” por sus siglas en inglés, tomando como referencia a vehículos de clase 1 que contemplan a aquellos vehículos de 4 ruedas o más cuyo fin es el de transportar personas, dicho ensayo ha sido aplicado exitosamente a ambos vehículos y se lo desarrollo sin ninguna novedad.

En lo que se refiere al ahorro de combustible para motores de encendido por compresión se evidencia que a través del sistema dual fuel de hidrógeno se obtuvo una disminución del consumo de combustible del 5,23%, dicho valor es el promedio de 3 ensayos ejecutados usando el sistema dual fuel, si bien se puede tomar como un resultado favorable el tiempo promedio para poder recuperar la inversión es de aproximadamente 10,8 años, condición que estaría relacionada al bajo precio del diésel en el Ecuador, por ende la recuperación va a ser más lenta y se podría afirmar en base a los resultados obtenidos que no es viable el uso de sistemas de inyección dual fuel en vehículos diésel ya que su impacto en el tema de ahorro de combustible va a ser mínimo.

Las pruebas de consumo de combustible realizadas en el vehículo con motor de encendido provocado arrojan una disminución del consumo del 5,41% con el sistema de inyección de hidrógeno bi fuel, dicho valor no representa un ahorro inmediato si no que este se podrá ver reflejado a largo plazo, pues el tiempo para la recuperación de la inversión del kit de hidrógeno para este vehículo está en 4,46 años, menos de la mitad del tiempo requerido para vehículos con motores de encendido por compresión, es así que se puede decir que el sistema de inyección bi fuel de hidrógeno para motores de encendido provocado podría ser viable, no para una persona normal cuyo recorrido diario es bajo si no que este se podría aprovechar en vehículos que su distancia de recorrido diario sea mucho mayor como es el caso del transporte público donde figuran taxis y camionetas de alquiler.

La adición de hidrógeno a través de un sistema bi-fuel en la alimentación del vehículo con MEP, genera un aumento del 3,59% de la potencia neta, que corresponde al incremento de 4,7 Hp a la potencia máxima del vehículo. Por su parte el torque se eleva en 1,63%, aproximadamente 2,71 Nm.

La implementación del sistema Dual-fuel, diésel más hidrógeno mejora los parámetros de torque y potencia en el vehículo con MEC, teniendo un incremento del 1,23% para la potencia y 1,48% para el par motor máximo.

Recomendaciones

Se recomienda el verificar la hermeticidad de las conexiones del kit de hidrógeno vehicular con a fin de evitar que el hidrógeno generado se escape o acumule pudiendo este ocasionar algún imprevisto si llegara a detonar.

Verificar de forma constante el nivel de electrolito contenido en el burbujeador a fin de completarlo si es que se diera el caso, tomando en cuenta el no sobrepasar el límite establecido en el recipiente pues el electrolito podría viajar por las cañerías a la admisión del vehículo.

En el desarrollo de los ensayos de consumo de combustible se debe de tener especial cuidado con los implementos que se lleven a bordo en el vehículo, ya que si se llegara a cargar más el vehículo durante el desarrollo se obtendrían valores distintos pues el peso neto ha cambiado y será necesario el uso de más combustible para su desplazamiento.

Previo a los ensayos de torque y potencia el vehículo a ser analizado deberá de estar puesto a punto a fin de evitar resultados erróneos a causa de un deficiente mantenimiento, de igual forma el vehículo deberá estar alineado previo a la realización de los ensayos.

Se deberá de revisar que los anclajes de sujeción hacia el vehículo sean correctos, antes de iniciar con los ensayos de torque y potencia a fin de prevenir accidentes.

Durante el transcurso de los ensayos de consumo de combustible tener muy en cuenta de no sobrepasar la velocidad y tiempo indicados a fin de garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Bibliografía

Asociación Española del Hidrógeno. (2021 de octubre de 13). ¿Cómo funciona el Hidrógeno como fuente de energía?. Asociación Española Del Hidrógeno.

<https://www.aeh2.org/hidrogeno/>

BBVA. (24 de Mayo de 2022). *Descubre qué es el hidrógeno verde: solución y desafío.*

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/descubre-que-es-el-hidrogeno-verde-solucion-y-desafio/>

Bensingher, W. D. (1973). *Rotationskolben-Verbrennungsmotoren*. Sprinfer-Verlag.

Bravo Vargas, J. G., & Guevara Flores, J. C. (2017). *Estudio comparativo de torque y potencia en un vehículo CRDI a 0 y 2800msnm*. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.

CASTELLANOS MONROY, A., CHAPARRO FONSECA, D., & LOZANO ESCOBAR, N. (2022). *HIDROGENO COMO SUSTITUTO DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES EN*. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogota.

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8883/1/75964698-2022-1-GP.pdf>

Chang, R. (2007). *Química*.

Díaz, J. (2015). *Sistemas de energías renovables (1st ed.)*. Paraninfo.

Elías, X., & Jurado, L. (2012). *Tratamientos y valorización energética de residuos (1st ed.)*. Ediciones Díaz de santos.

Goldsby, K. A. & Chang, R. (2017). *Química (12a. ed.)*. McGraw-Hill España.

<https://elibro.net/es/ereader/espe/36611?page=874>

Herramientas de diagnóstico del vehículo ELM327. (10 de Enero de 2017). Retrieved 06 de Agosto de 2022, from ebay: https://ec.ebay.com/b/ELM327-Vehicle-Diagnostic-Tools/179474/bn_116012156

Heywood, J. B. (1988). *INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUNDAMENTALS*. McGraw-Hill.

Hortal, M. A., & Miranda Barreras, Á. L. (2005). *El hidrógeno, fundamento de un futuro equilibrado*. España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.

Kia Sportage: Specifications. (s.f.). Retrieved 06 de Agosto de 2022, from Kispmanual: <https://www.kispmanual.com/specifications-485.html>

KINDLER, H., & KINAST, H. (1986). *Matemática aplicada para la técnica del automovil*. Barcelona: Reverté.

Madrid, A. (2009). *Energías Renovables* (1st ed.). AMV Ediciones.

Prades, C. (2010). *Hidrógeno hoy: una alternativa energética y ambiental*. Ediciones Cathedra Jurídica. <https://elibro.net/es/ereader/espe/77125?page=59>

Paredes, D. (2016). *Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic 1977, como alternativa de energia renovable. (Tesis de Ingenieria)*. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.

Peretti, H., & Visintin, A. (2005). *HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO: ¿POR QUÉ, CÓMO Y DÓNDE? (Articulo científico)*. Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, La Plata, Argentina.

SPIEGATO. (2021 de Mayo de 30). *¿Qué es un dinamómetro automotriz?*. Spiegato. <https://spiegato.com/es/que-es-un-dinamometro-automotriz>

Scanner automotriz Bluetooth ELM327 ODB2 V2.1. (03 de Enero de 2020). Retrieved 06 de Agosto de 2022, from TodoMicro: <https://www.todomicro.com.ar/instrumentos-de-medicion-y-prueba/384-scanner-automotriz-bluetooth-elm327-odb2-v21.html>

UNECE. (20 de Septiembre de 2018). *Reglamento técnico global de las Naciones Unidas sobre normas armonizadas a nivel mundial.* Retrieved 5 de Agosto de 2022, from Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas:
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a15am4e.pdf>

x-engineer. (19 de Agosto de 2017). *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC).* Retrieved 06 de Agosto de 2022, from <https://x-engineer.org/brake-specific-fuel-consumption-bsfc/>

Yuquilima Campoverde, P. F., & Vintimilla Calderon, G. E. (2012). *IMPLEMENTACUON EN UN VEHICULO CON MOTOR OTTO DE UN SISTEMA MIXTO DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE NAFTA-HIDROGENO.* Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

Yusri, I. M., Akasyah, M. K., Mamat, R., & Ali, O. M. (2015). *COMBUSTION AND EMISSIONS CHARACTERISTICS OF A COMPRESSION IGNITION ENGINE FUELLED WITH N-BUTANOL BLENDS.* *Jurnal Teknologi*, 70. Retrieved 06 de Agosto de 2022, from https://www.researchgate.net/publication/284129389_Combustion_and_emissions_characteristics_of_a_compression_ignition_engine_fuelled_with_N-butanol_blends

Anexos