



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
TÉRMICO DEL MOTOR DIÉSEL AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA
GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO
DE COMBUSTIÓN**

**AUTORES: DARIO XAVIER BORJA SOTO
JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ**

DIRECTOR: ING. ALEX CEVALLOS

LATACUNGA

2017




**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO DEL MOTOR DIÉSEL AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN”** realizado por los señores **DARIO XAVIER BORJA SOTO** y **JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software antiplagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **DARIO XAVIER BORJA SOTO** y **JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Junio del 2017



Alex Santiago Cevallos Carvajal
Director



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **DARIO XAVIER BORJA SOTO**, con cédula de ciudadanía N°1725562969 y **JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ** con cédula de ciudadanía N°1722265418 declaro que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO DEL MOTOR DIÉSEL AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográfica.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Junio del 2017

Dario Xavier Borja Soto
C.C.: 1725562969

Jhon Daniel Jara Martínez
C.C.: 1722265418



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros **DARIO XAVIER BORJA SOTO** y **JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO DEL MOTOR DIÉSEL AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, Junio del 2017

Dario Xavier Borja Soto

C.C.: 1725562969

Jhon Daniel Jara Martínez

C.C.: 1722265418

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación para dios el creador y la virgen María madre de los religiosos y no religiosos, quienes me dieron la voluntad, capacidad y fuerza para estudiar y tener la oportunidad de seguir creciendo como persona y profesional permitiéndome cumplir uno de mis objetivos y sueños en mi vida.

A mi valioso padre Manuel Jara fruto de mi inspiración para levantarme cada día y vivir cada uno de ellos a la vez con actitud y coraje, quien con su apoyo estuve orientado y respaldado siempre manteniéndome firme en mi camino a cumplir mi sueño.

A mi valiosa madre Marcela Martínez que con su amor incondicional me brinda felicidad y confianza, siendo mi inspiración y ejemplo de que si trabajo duro y me concentro en lo que deseo encuentro las herramientas y la solución a mis problemas obteniendo victorias en la vida social, académica y ahora profesional.

A mi hermano Ricardo Jara quien con su papel de hermano mayor me brindó su apoyo y consejos los cuales me guiaron por un camino correcto para cumplir mis metas.

A mi hermana Mónica Jara y mis sobrinos Daniel y Gissel quienes me brindan alegría y cariño que alimenta el alma que me permite ser mejor humano y madurar de una manera indirecta.

A mi compañero Dario Borja el cual con su apoyo y amistad hemos conseguido excelentes triunfos y cumplir muchas metas.

Para mis amigos y personas que fueron parte del proceso entre ellos mi gran amigo Arnaldo García conocido como patas y una infinidad de apodosos graciosos, ellos ayudaron a la motivación de ser mejor humano con su amistad y compañía.

JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a cumplir mis objetivos, haberme dado salud y sabiduría en cada uno de mis pasos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Gilbert Borja y Gloria Soto por haberme apoyado en cada una de las decisiones tomadas, por los valores inculcados que llegaron a formar una persona de bien, por sus consejos, y la motivación constante que permitió superar cada inconveniente, pero más que nada, por su amor.

A mi hermanos Santiago y Rodrigo por ser el ejemplo de hermanos y de los cuales aprendí la hermandad que me motivo a seguir superándome cada día, a mis abuelitos, tíos, primos y demás familiares que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A mis docentes Ing. Cevallos Alex por su apoyo incondicional en el proceso de la investigación para culminar mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; al Ing. Erazo German por su apoyo ofrecido en este trabajo; al Ing. Quiroz Leonidaz.ro por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, y demás docentes que con su aportación de conocimientos y tiempo lograron inculcar buenas enseñanzas en mi persona.

A mis amigos en especial a mi compañero de investigación y amigo Jhon Jara que gracias a su apoyo hemos conseguido muchos triunfos, y demás camaradas que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y humana, se me hace imposible nombrarlos a todos pero están presente cada uno de ustedes.

DARIO XAVIER BORJA SOTO

AGRADECIMIENTO

Agradecido con dios y la virgen María madre de los religiosos y no religiosos por brindarme salud y vida mantenerme sensato ante las adversidades y haber nacido con conciencia y ambición al querer lograr mis metas.

Dar gracias a mi padre Manuel Jara quien me apoya cada día sin condición, agradecido por tener el mejor padre del mundo ejemplo para mi sin duda lo amo, mi madre Marcela Martínez quiero agradecerle por ser la mujer perfecta y la mejor madre del mundo que un hijo pueda tener obteniendo de mi lo mejor, por ella soy lo que soy la amo.

Sin duda agradecido con mis hermanos, Ricardo y Mónica quienes de cualquier manera me saben ayudar en lo que necesito brindándome ratos inolvidables lo que me hacen ser feliz en mi diario vivir los llevo en mi corazón.

Agradecido con los ingenieros y docentes German Erazo, Leonidas Quiroz, Alex Cevallos, Danilo Zambrano y José Quiroz quienes como profesionales son excelentes y como personas son un ejemplo a seguir convirtiéndose en amigos a quienes les guardo un gran respeto y afecto gracias por todo.

Para terminar quiero dar gracias a los que de una forma u otra se hacen parte de mi sueño y objetivo, Dario Borja gracias solo tú sabes lo que pasamos cuanto nos esforzamos gracias, a mis amigos Andrés, Richard y Juan por su apoyo y amistad los aprecio sin duda, a mis compañeros de universidad que conocí gracias. Al ingeniero Marco Quillupangui por brindarme el apoyo necesario para superarme en mi vida laboral y académica gracias, a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por impartirme grandes conocimientos y darme la oportunidad de cursar mi carrera y donde conocí una realidad diferente y sentí una paz interna, será imposible olvidarla. A Carolina Arballo mil gracias por estar ahí cuando lo necesitaba te quiero.

JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por guiar mi camino en el sendero correcto de la vida, convirtiéndose en la luz que guía mis pasos y en todo lo que realizo de mí convivir diario.

A mis padres, por ser mi ejemplo a seguir en el convivir diario y por inculcarme valores que de una u otra forma me han servido en la vida, gracias por eso y por muchos más.

A mis hermanos por ser mi apoyo en cada decisión que tomo, y por estar junto a mí en cada momento hoy, mañana y siempre.

A mi director de tesis el Ingeniero Alex Cevallos por la paciencia y los consejos brindador para guiarme en cada paso de este proyecto y a los Ingenieros German Erazo y Leonidas Quiroz por la colaboración prestada en el desarrollo de la investigación.

A mis maestros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el tiempo de mi vida estudiantil y que me ayudaron de una u otra forma para hacer posible la culminación de mis estudios profesionales.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por brindarme una oportunidad de ser un profesional que en el futuro colaborará y será útil a la sociedad.

A mi compañero de tesis y amigo Jhon Jara que con su esfuerzo y dedicación hemos conseguido la meta anhelada.

A mis amigos y amigas y a todas las personas que de una u otra manera me incentivaron y me motivaron para seguir adelante con los objetivos de este propósito.

DARIO XAVIER BORJA SOTO

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxviii
RESUMEN	xxix
ABSTRACT	xxx

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	- 1 -
1.1 Antecedentes.....	- 1 -
1.2 Planteamiento del problema	- 3 -
1.3 Descripción resumida del proyecto	- 4 -
1.4 Justificación e importancia.....	- 6 -
1.5 Objetivos.....	- 8 -
1.5.1 Objetivo general	- 8 -
1.5.2 Objetivos específicos.....	- 8 -
1.6 Metas	- 9 -
1.7 Hipótesis.....	- 9 -
1.8 Variables de investigación	- 10 -
1.9 Metodología de desarrollo del proyecto	- 12 -

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	- 20 -
2.1	Motor diésel	- 20 -
2.1.1	Principios de funcionamiento del motor diésel	- 20 -
2.1.2	Combustible.....	- 21 -
2.1.3	Torque	- 22 -
2.1.4	Potencia al freno.....	- 22 -
2.1.5	Velocidad angular	- 23 -
2.1.6	Caudal de combustible.....	- 24 -
2.1.7	Consumo volumétrico de aire teórico.....	- 24 -
2.1.8	Consumo másico de combustible	- 25 -
2.1.9	Relación aire-combustible.....	- 25 -
2.1.10	Densidad del aire para motores sobrealimentados	- 26 -
2.1.11	Eficiencia volumétrica	- 27 -
2.1.12	Consumo específico de combustible.....	- 27 -
2.1.13	Presión media del ciclo	- 28 -
2.1.14	Eficiencia térmica.....	- 28 -
2.1.15	Rendimiento mecánico.....	- 29 -
2.1.16	Rendimiento indicado.....	- 29 -
2.2	Hidrógeno	- 30 -
2.2.1	Métodos de obtención de hidrógeno ventajas	- 30 -
2.2.2	Métodos de obtención de hidrógeno desventajas	- 31 -
2.2.3	Usos	- 31 -
2.3	Electrólisis	- 31 -
2.4	Leyes de Faraday	- 32 -
2.4.1	Primera ley de Faraday	- 32 -

2.4.2	Segunda ley de Faraday.....	- 33 -
2.4.3	Conductividad eléctrica.....	- 34 -
2.5	Resultados mecánicos y térmicos del motor diésel con hidrógeno	- 35 -
2.6	Características básicas del sistema generador de hidrógeno .	- 36 -
2.6.1	Generador de hidrógeno	- 36 -
2.6.2	Electrolito	- 37 -
2.6.3	Hidróxido de Potasio	- 37 -
2.6.4	Mangueras	- 38 -
2.6.5	Agua destilada	- 38 -
2.6.6	Módulo de control.....	- 38 -
2.7	Emisiones contaminantes.....	- 39 -
2.7.1	Norma INEN 2207	- 39 -
2.7.2	Norma INEN 2202	- 41 -
2.8	Instrumentos de medición	- 41 -
2.8.1	Dinamómetro de chasis	- 41 -
2.8.2	Analizador de opacidad	- 42 -
2.9	Métodos dinámicos en estado transitorio	- 43 -
2.9.1	Prueba ECE-15 + EDUC	- 43 -
2.9.2	Prueba FTP-75	- 45 -
2.9.3	Prueba New York City	- 47 -

CAPÍTULO III

3.	REQUERIMIENTOS E IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO	- 48 -
3.1	Requerimientos del generador de hidrógeno	- 48 -
3.1.1	Requerimientos iniciales	- 48 -
3.1.2	Selección del generador de hidrógeno.....	- 49 -

3.1.3	Cálculo de la masa producida de hidrógeno	- 50 -
3.1.4	Cálculo del caudal de hidrógeno	- 50 -
3.1.5	Cálculo de la conductividad del electrolito	- 52 -
3.2	Implementación del kit de hidrógeno.	- 53 -
3.2.1	Seguridad en la implementación	- 53 -
3.2.2	Instalación de componentes mecánicos	- 53 -
3.2.3	Conexión eléctrica.....	- 58 -
3.2.4	Preparación del electrolito.....	- 62 -
3.2.4	Comprobación del sistema.....	- 63 -
3.2.5	Mantenimiento del sistema.	- 65 -

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE PRUEBAS DE RENDIMIENTO, EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE	- 67 -
4.1	Equipos y procedimientos de prueba	- 67 -
4.1.1	Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full	- 67 -
4.1.2	Generación de hidrógeno	- 69 -
4.1.3	Dinamómetro dynamite 4400 2WD IO chassis dyno	- 70 -
4.1.4	Analizador de gases - opacímetro CARTEK	- 76 -
4.1.5	Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688.....	- 80 -
4.1.6	Pruebas consumo de combustible	- 85 -
4.2	Influencia mecánica y térmica con la inyección de hidrógeno en la camioneta Chevrolet Dmax CRDI 3.0 4X4 ...	- 92 -
4.2.1	Pruebas de torque y potencia	- 92 -
4.2.2	Resultados de pruebas de opacidad	- 100 -
4.2.3	Análisis de gases de escape AGS 688	- 101 -
4.2.4	Resultado pruebas de consumo de combustible.....	- 115 -
4.3	Cálculo de los parámetros técnicos del motor	- 182 -

4.3.1	Cálculos de los parámetros técnicos del motor estándar.....	- 183 -
4.3.2	Cálculos de los parámetros técnicos del motor adicionado hidrógeno al 100% correspondiente a 4 litros/minuto	- 186 -

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	- 192 -
5.1	Factibilidad de la investigación.....	- 192 -
5.1.1	Recursos materiales.....	- 192 -
5.1.2	Talento humano	- 193 -
5.1.3	Recursos financieros.....	- 193 -
5.2	Título de la propuesta.....	- 195 -
5.2.1	Estructura de la propuesta.....	- 196 -
5.2.2	Desarrollo de la propuesta.....	- 196 -
	CONCLUSIONES	- 201 -
	RECOMENDACIONES.....	- 206 -
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 208 -
	ANEXOS.....	- 213 -
ANEXO A	PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA	
ANEXO B	MEDICIONES DE OPACIDAD “ANALIZADOR DE GASES CARTEK”	
ANEXO C	MEDICIONES DE OPACIDAD CON EL EQUIPO AGS 688	
ANEXO D	MEDICIONES DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON EL SOWFTWARE OBDLINK SX USB	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Variable dependiente: Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel	- 10 -
Tabla 2:	Variable Independiente: Producción de hidrógeno a partir del proceso de la electrólisis.....	- 11 -
Tabla 3:	Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto.....	- 15 -
Tabla 4.	Representación de la carga eléctrica según el elemento químico.....	- 33 -
Tabla 5.	Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)	- 40 -
Tabla 6.	Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel (prueba de aceleración libre)	- 40 -
Tabla 7.	Parámetros seleccionados para las pruebas ECE+15 y EUDC	- 44 -
Tabla 8.	Parámetros seleccionados para las pruebas SFTP-SC03	- 46 -
Tabla 9	Requerimientos del generador de hidrógeno para la investigación.....	- 48 -
Tabla 10.	Descripción de los parámetros de la ley de Faraday	- 50 -
Tabla 11.	Descripción de los parámetros del cálculo del caudal de hidrógeno.....	- 51 -
Tabla 12.	Descripción de caudales calculados	- 51 -
Tabla 13.	Descripción de amperajes calculados.....	- 52 -
Tabla 14.	Descripción de los parámetros del cálculo de la conductividad del electrolito.....	- 52 -
Tabla 15.	Ficha técnica de la camioneta Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full.....	- 68 -
Tabla 16.	Ficha técnica dinamómetro Dynamite 4400 2WD	- 71 -

Tabla 17. Datos obtenidos de opacidad en las distintas etapas de prueba.....	- 100 -
Tabla 18. Datos obtenidos de la prueba de gases a motor estándar ..	- 102 -
Tabla 19. Datos obtenidos de la prueba de gases a 25% de hidrógeno.....	- 103 -
Tabla 20. Datos obtenidos de la prueba de gases a 50% de hidrógeno.....	- 103 -
Tabla 21. Datos obtenidos de la prueba de gases a 75% de hidrógeno	- 104 -
Tabla 22. Datos obtenidos inyección 100% de hidrógeno.....	- 105 -
Tabla 23. Datos obtenidos motor estándar protocolo FTP-75.....	- 116 -
Tabla 24. Datos obtenidos con motor estándar prueba complementaria SFTP-SC03	- 118 -
Tabla 25. Datos obtenidos con inyección de 25% de hidrógeno protocolo FTP-75.....	- 120 -
Tabla 26. Datos obtenidos con inyección a 25% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03	- 122 -
Tabla 27. Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno protocolo FTP-75.....	- 124 -
Tabla 28. Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03	- 126 -
Tabla 29. Datos obtenidos con inyección de 75% de hidrógeno protocolo FTP-75.....	- 128 -
Tabla 30. Datos obtenidos con inyección de 75% hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03.....	- 130 -
Tabla 31. Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno protocolo FTP-75.....	- 132 -
Tabla 32. Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03	- 134 -

Tabla 33. Datos obtenidos motor estándar protocolo NYCC.....	- 140 -
Tabla 34. Datos obtenidos con inyección 25% de hidrógeno protocolo NYCC	- 142 -
Tabla 35. Datos obtenidos con inyección 50% de hidrógeno protocolo NYCC.....	- 144 -
Tabla 36. Datos obtenidos con inyección de 75% de hidrógeno protocolo NYCC	- 147 -
Tabla 37. Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno protocolo NYCC	- 149 -
Tabla 38. Datos obtenidos motor estándar protocolo ECE-15 cuatro etapas.....	- 153 -
Tabla 39. Datos obtenidos con motor estándar prueba EUDC quinta etapa.....	- 156 -
Tabla 40. Datos obtenidos con inyección de 25% protocolo ECE-15 cuatro etapas.....	- 159 -
Tabla 41. Datos obtenidos con inyección de 25% de hidrógeno protocolo EUDC quinta etapa.....	- 161 -
Tabla 42. Datos obtenidos con inyección de 25% protocolo ECE-15 cuatro etapas.....	- 164 -
Tabla 43. Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno protocolo EUDC quinta etapa.....	- 166 -
Tabla 44. Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo ECE-15 cuatro etapas.....	- 168 -
Tabla 45. Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo EUDC quinta etapa.....	- 171 -
Tabla 46. Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo ECE-15 cuatro etapas.....	- 173 -
Tabla 47. Datos obtenidos con inyección de 100% protocolo EUDC quinta etapa.....	- 176 -

Tabla 48. Resumen de los parámetros técnicos del motor.....	- 190 -
Tabla 49. Recursos materiales	- 192 -
Tabla 50. Talento humano	- 193 -
Tabla 51. Gastos producción de hidrógeno	- 193 -
Tabla 52. Gastos pruebas realizadas	- 194 -
Tabla 53. Gastos materiales e insumos utilizados	- 194 -
Tabla 54. Descripción costos implementación generador de hidrógeno.....	- 197 -
Tabla 55. Costos de operación del generador de hidrógeno	- 197 -
Tabla 56. Plan de costos y flujo de caja.....	- 198 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama causa efecto	- 3 -
Figura 2.	Motor diésel	- 20 -
Figura 3.	Ciclo de trabajo motor diésel	- 21 -
Figura 4.	Electrólisis del agua.....	- 32 -
Figura 5.	Curva de CO en diferentes cargas	- 35 -
Figura 6.	Curva de HC en diferentes cargas	- 35 -
Figura 7.	Valores de NOx en diferentes cargas del motor.....	- 36 -
Figura 8.	Ciclo de trabajo PWM en el generador de hidrógeno con sus respectivos porcentajes de funcionamiento	- 39 -
Figura 9.	Dinamómetro de chasis Dynamite.....	- 42 -
Figura 10.	Opacímetro Cartek	- 43 -
Figura 11.	Ciclo de prueba ECE-15.....	- 44 -
Figura 12.	Ciclo de prueba EUDC	- 44 -
Figura 13.	Ciclo de prueba FTP-75	- 46 -
Figura 14.	Ciclo de prueba SFTP-SC03	- 46 -
Figura 15.	Ciclo de prueba NYCC	- 47 -
Figura 16.	Estructura de las placas electrolíticas	- 49 -
Figura 17.	Medición de amperaje consumido total	- 49 -
Figura 18.	Lugar de instalación generador de hidrógeno	- 54 -
Figura 19.	Desmontaje mascarilla frontal	- 54 -
Figura 20.	Ubicación generador de hidrógeno en la camioneta.....	- 55 -
Figura 21.	Lugar de instalación depósito del generador de hidrógeno..	- 55 -
Figura 22.	Conexión manguera “H2O” del depósito al generador de hidrógeno.....	- 56 -

Figura 23. Conexión manguera “Salida H2” del depósito al generador de hidrógeno	- 56 -
Figura 24. Conexión manguera “Salida O2” del depósito al generador de hidrógeno	- 57 -
Figura 25. Conexión manguera “Al motor H2” del depósito al múltiple de admisión	- 57 -
Figura 26. Lugar de acoplamiento del conducto de hidrógeno al motor	- 58 -
Figura 27. Módulo de control	- 58 -
Figura 28. Fusible, interruptor, y circuito PWM HHO RC -10000137	- 59 -
Figura 29. Borne positivo del generador de hidrógeno.....	- 59 -
Figura 30. Borne negativo del generador de hidrógeno	- 60 -
Figura 31. Bornes positivo y negativo del depósito del generador de hidrógeno.....	- 60 -
Figura 32. Ventilador y voltímetro del módulo de control	- 61 -
Figura 33. Circuito del módulo de control	- 61 -
Figura 34. Sujeción del módulo de control	- 62 -
Figura 35. Agua destilada e hidróxido de potasio	- 63 -
Figura 36. Temperatura de funcionamiento Chevrolet D-Max	- 63 -
Figura 37. Generación de hidrógeno en ventanilla del dispositivo	- 64 -
Figura 38. Comprobación de la generación de hidrógeno	- 64 -
Figura 39. Llenado de electrolito en el depósito del generador de hidrógeno	- 65 -
Figura 40. Generador de hidrógeno implementado en el vehículo.....	- 67 -
Figura 41. Amperaje 25% generación de hidrógeno.....	- 69 -
Figura 42. Amperaje 50% generación de hidrógeno.....	- 69 -
Figura 43. Amperaje 75% generación de hidrógeno.....	- 70 -
Figura 44. Amperaje 100% generación de hidrógeno.....	- 70 -

Figura 45.	Taller Dinamyca competición	- 70 -
Figura 46.	Dynomite 4400 2WD IO Chassis Dyno	- 71 -
Figura 47.	Vehículo ubicado en los rodillos	- 72 -
Figura 48.	Anclaje del vehículo en puntos fijos	- 73 -
Figura 49.	Icono del programa “DYNO MAX 2010”	- 73 -
Figura 50.	Medidor de revoluciones y de vacío.....	- 74 -
Figura 51.	Conexión de la manguera de vacío al vehículo	- 74 -
Figura 52.	Ingreso de datos del vehículo en el software “DYNO MAX 2010”	- 74 -
Figura 53.	Pantalla de medición del software “DYNO MAX 2010”	- 75 -
Figura 54.	Rango de revoluciones de prueba de dinamómetro	- 75 -
Figura 55.	Curva de torque y potencia modelo	- 76 -
Figura 56.	Analizador de gases - opacímetro CARTEK	- 76 -
Figura 57.	Pantalla inicial software opacímetro CARTEK	- 77 -
Figura 58.	Pantalla ingreso de datos opacímetro CARTEK	- 78 -
Figura 59.	Pantalla calibración revoluciones opacímetro CARTEK.....	- 78 -
Figura 60.	Sonda en el tubo de escape opacímetro CARTEK	- 79 -
Figura 61.	Pantalla prueba opacímetro CARTEK.....	- 79 -
Figura 62.	Informe final opacímetro CARTEK	- 80 -
Figura 63.	Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688.....	- 81 -
Figura 64.	Módulo de medición GPRPM-300	- 82 -
Figura 65.	Ubicación medidor de temperatura del módulo GPRPM-300.....	- 82 -
Figura 66.	Ventana del programa del AGS-688	- 82 -
Figura 67.	Prueba de estanqueidad del AGS-688.....	- 83 -
Figura 68.	Ventana selección de prueba del AGS-688	- 83 -
Figura 69.	Ventana valores de prueba del AGS-688.....	- 84 -

Figura 70.	Informe final de la prueba del AGS-688	- 84 -
Figura 71.	Filtros del AGS-688	- 84 -
Figura 72.	OBDLink SX.....	- 85 -
Figura 73.	Conexión del OBDLink SX al vehículo.....	- 85 -
Figura 74.	Manejo del OBDLink SX mediante computadora portátil	- 86 -
Figura 75.	Pantalla de la interfaz de consumo de combustible OBDWIZ.....	- 86 -
Figura 76.	Ruta designada para todas las pruebas NYCC.....	- 87 -
Figura 77.	Ruta designada para la primera etapa de la prueba ECE-15.....	- 88 -
Figura 78.	Ruta designada para la segunda etapa de la prueba ECE-15.....	- 88 -
Figura 79.	Ruta designada para la tercera etapa de la prueba ECE-15.....	- 89 -
Figura 80.	Ruta designada para la cuarta etapa de la prueba ECE-15.....	- 89 -
Figura 81.	Ruta designada para la prueba EUDC	- 90 -
Figura 82.	Ruta designada para la prueba FTP-75	- 91 -
Figura 83.	Ruta designada para la prueba SFTP	- 92 -
Figura 84.	Prueba de torque y potencia con motor estándar “STD”.....	- 93 -
Figura 85.	Prueba de torque y potencia con motor estándar “STD”	- 93 -
Figura 86.	Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 25%.....	- 94 -
Figura 87.	Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 25%.....	- 94 -
Figura 88.	Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 50%.....	- 95 -

Figura 89. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 50%.....	- 95 -
Figura 90. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 75%.....	- 96 -
Figura 91. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 75%.....	- 96 -
Figura 92. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno 100%	- 97 -
Figura 93. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno 100%.....	- 97 -
Figura 94. Resumen estadístico de potencia en las distintas etapas de prueba	- 98 -
Figura 95. Resumen porcentual de la medición de potencia	- 99 -
Figura 96. Resumen estadístico de torque en las distintas etapas de prueba.....	- 99 -
Figura 97. Resumen porcentual de la medición de torque.....	- 100 -
Figura 98. Resumen estadístico de la medición de opacidad	- 101 -
Figura 99. Curvas comparativas de valores de CO en todas las etapas.....	- 106 -
Figura 100. Resultados promedio de CO % vol.....	- 106 -
Figura 101. Disminución porcentual de CO en cada etapa.....	- 107 -
Figura 102. Curvas comparativas de valores de CO ₂ en todas las etapas.....	- 107 -
Figura 103. Resultado promedio de CO ₂ %vol.....	- 108 -
Figura 104. Comparación porcentual de CO ₂ %	- 108 -
Figura 105. Curva comparativa de los valores de HC en todas las pruebas.....	- 109 -
Figura 106. Resultados promedio de HC ppm vol	- 110 -

Figura 107. Comparación porcentual de HC ppm vol	- 110 -
Figura 108. Curva de valores comparativos de NOx en todas las etapas.....	- 111 -
Figura 109. Resultados promedio NOx ppm vol	- 111 -
Figura 110. Comparación porcentual de NOx.....	- 112 -
Figura 111. Curva comparativa de valores O2 en todas las pruebas....	- 113 -
Figura 112. Resultados promedio de O2 % vol.....	- 113 -
Figura 113. Comparación porcentual de O2.....	- 114 -
Figura 114. Curva comparativa del valor de λ en todas las pruebas	- 115 -
Figura 115. Resultados promedio del valor de λ	- 115 -
Figura 116. Protocolo FTP-75 motor estándar curva velocidad vs tiempo.....	- 117 -
Figura 117. Protocolo FTP-75 motor estándar curva consumo vs distancia... ..	- 117 -
Figura 118. Prueba complementaria SFTP-SC03 motor estándar curva velocidad vs tiempo.....	- 119 -
Figura 119. Prueba complementaria SFTP-SC03 motor estándar curva consumo vs distancia	- 119 -
Figura 120. Protocolo FTP-75 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 121 -
Figura 121. Protocolo FTP-75 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 121 -
Figura 122. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 123 -
Figura 123. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 123 -
Figura 124. Protocolo FTP-75 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 125 -

Figura 125. Protocolo FTP-75 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 125 -
Figura 126. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 127 -
Figura 127. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 127 -
Figura 128. Protocolo FTP-75 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 129 -
Figura 129. Protocolo FTP-75 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 129 -
Figura 130. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 131 -
Figura 131. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 131 -
Figura 132. Protocolo FTP-75 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 133 -
Figura 133. Protocolo FTP-75 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 133 -
Figura 134. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 135 -
Figura 135. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia	- 135 -
Figura 136. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo FTP-75.....	- 136 -
Figura 137. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo FTP-75.....	- 137 -
Figura 138. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo FTP-75.....	- 137 -
Figura 139. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo FTP-75.....	- 138 -

Figura 140. Resumen estadístico del consumo de combustible prueba complementaria SFTP-SC03	139 -
Figura 141. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible prueba complementaria SFTP-SC03	139 -
Figura 142. Protocolo NYCC motor estándar curva velocidad vs tiempo.....	141 -
Figura 143. Protocolo NYCC motor estándar curva consumo vs distancia.....	142 -
Figura 144. Protocolo NYCC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	143 -
Figura 145. Protocolo NYCC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	144 -
Figura 146. Protocolo NYCC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	145 -
Figura 147. Protocolo NYCC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	146 -
Figura 148. Protocolo NYCC con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	148 -
Figura 149. Protocolo NYCC con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	148 -
Figura 150. Protocolo NYCC con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	150 -
Figura 151. Protocolo NYCC con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	150 -
Figura 152. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo NYCC.....	151 -
Figura 153. Resumen estadístico de consumo de combustible protocolo NYCC.....	152 -
Figura 154. Resumen porcentual de la variación de consumo de combustible protocolo NYCC	152 -

Figura 155. Protocolo ECE-15 con motor estándar curva velocidad vs tiempo	- 155 -
Figura 156. Protocolo ECE-15 con motor estándar curva consumo vs distancia.....	- 156 -
Figura 157. Protocolo EUDC con motor estándar curva velocidad vs tiempo.....	- 157 -
Figura 158. Protocolo EUDC con motor estándar curva consumo vs distancia	- 158 -
Figura 159. Protocolo ECE-15 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	- 160 -
Figura 160. Protocolo ECE-15 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 161 -
Figura 161. Protocolo EUDC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	- 162 -
Figura 162. Protocolo EUDC con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 163 -
Figura 163. Protocolo ECE-15 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 165 -
Figura 164. Protocolo ECE-15 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 166 -
Figura 165. Protocolo EUDC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 167 -
Figura 166. Protocolo EUDC con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 168 -
Figura 167. Protocolo ECE-15 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo.....	- 170 -
Figura 168. Protocolo ECE-15 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 171 -
Figura 169. Protocolo EUDC con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs consumo.....	- 172 -

Figura 170. Protocolo EUDC con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 173 -
Figura 171. Protocolo ECE-15 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 175 -
Figura 172. Protocolo ECE-15 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 176 -
Figura 173. Protocolo EUDC con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo	- 177 -
Figura 174. Protocolo EUDC con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia.....	- 178 -
Figura 175. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo ECE-15	- 178 -
Figura 176. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo ECE-15	- 179 -
Figura 177. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo ECE-15.....	- 180 -
Figura 178. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo EUDC.....	- 180 -
Figura 179. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo EUDC.....	- 181 -
Figura 180. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo EUDC	- 182 -
Figura 181. Influencia del potencial energético del hidrógeno en el motor Dmax 3.0	- 191 -
Figura 183. Cálculo del VAN y TIR de la propuesta.....	- 199 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	Par motor o torque	- 22 -
Ecuación 2:	Potencia al freno	- 22 -
Ecuación 3:	Potencia al freno en función de las revoluciones.....	- 23 -
Ecuación 4:	Velocidad angular.....	- 23 -
Ecuación 5:	Caudal de combustible.....	- 24 -
Ecuación 6:	Consumo volumétrico de aire teórico	- 24 -
Ecuación 7:	Consumo másico de combustible.....	- 25 -
Ecuación 8:	Relación aire-combustible	- 25 -
Ecuación 9:	Presión de sobrealimentación	- 26 -
Ecuación 10:	Densidad del aire de sobrealimentación	- 26 -
Ecuación 11:	Eficiencia volumétrica.....	- 27 -
Ecuación 12:	Consumo específico de combustible	- 27 -
Ecuación 13:	Presión media efectiva	- 28 -
Ecuación 14:	Eficiencia térmica	- 28 -
Ecuación 15:	Rendimiento mecánico.....	- 29 -
Ecuación 16:	Rendimiento indicado.....	- 29 -
Ecuación 16:	Formula moderna de la ley de Faraday.....	- 33 -
Ecuación 17:	Ecuación de conductividad del electrolito.....	- 34 -

RESUMEN

En el siguiente trabajo de investigación se analizó el rendimiento térmico y mecánico del motor diésel de la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI al suministrarle hidrógeno obtenido de un generador que funciona mediante el principio químico de la electrólisis, el cual se encarga de separar las moléculas del agua en oxígeno e hidrógeno con la ayuda del electrolito hidróxido de potasio en función de una corriente suministrada por una batería. Mediante el uso de un circuito PWM que controla la corriente de trabajo se obtuvo proporciones de hidrógeno del 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total producida por el generador, con cada una de las proporciones obtenidas se realizó pruebas de torque y potencia en el dinamómetro. Los gases fueron analizados en dos etapas la primera se midió la opacidad cuyos resultados fueron positivos al suministrar hidrógeno, en la segunda etapa se realizó la medición de los gases de escape obteniendo resultados favorables. Por otra parte el consumo de combustible se realizó basados en tres protocolos diferentes, NYCC (New York City Cycle), FTP-75 + SFTP-SC03, ECE-15 + EUDC, los cuales se caracterizan por tener tipos de conducción de ruta urbana y carretera, los datos obtenidos fueron positivos con la adición de hidrógeno.

PALABRAS CLAVES

- INYECCIÓN HIDRÓGENO
- MOTORES DIÉSEL
- ELECTRÓLISIS
- CHEVROLET DMAX

ABSTRACT

In the following research the thermal and mechanical performance of the diesel engine of the Chevrolet D-Max 3.0 CRDI was analyzed by supplying hydrogen obtained from a generator that works by means of the chemical principle of electrolysis, which works separating the molecules from the water in oxygen and hydrogen with the help of the electrolyte potassium hydroxide using a current supplied by a battery. Using a PWM circuit that controls the working current, proportions of hydrogen were obtained of 25%, 50%, 75% and 100% of the total capacity produced by the generator, with each of the proportions of hydrogen obtained torque and power tests were performed with the dynamometer. The gases were analyzed in two stages; the first one measured the opacity whose results were positive with the supply of hydrogen, in the second stage was the measurement the exhaust gases obtaining favorable results. Also the fuel consumption was realized based on three different protocols, NYCC (New York City Cycle), FTP-75 + SFTP-SC03, ECE-15 + EUDC, which are characterized by urban and road route types, the data obtained were positive in the addition of hydrogen.

KEYWORDS

- INJECTION HYDROGEN
- DIESEL ENGINE
- ELECTROLYSIS
- CHEVROLET DMAX

CAPÍTULO I

En este capítulo se explica el antecedente así como el problema de la investigación siendo esto base para fundamentar la justificación e importancia de la investigación mencionada, la cual permite proponer objetivos que se desarrollaron en el investigación, para alcanzar con éxito lo propuesto aportando así a la conservación del medio ambiente y al rendimiento de los automotores.

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En su estudio realizado Biplab, Ujjwal, & Sahoo,(2014), comentan que:

La dependencia de los combustibles fósiles convencionales ha llevado a lidiar con consecuencias de carácter preocupante, tales como la disminución de las reservas de petróleo y el daño producido al medio ambiente por lo cual aparece la necesidad de explorar otras opciones para encontrar alternativas factibles y positivas para reemplazar los combustibles fósiles de una manera parcial o en su totalidad.

Como exponen Talibi, Hellier, Balachandran, & Ladommatos, (2014), los motores de encendido por compresión (CI) son muy populares debido a sus mayores eficiencias térmicas, tiene características de combustión estable, fiabilidad y durabilidad. Pero una de las desventajas que tiene estos tipos de motor son las altas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas (PM), donde origina preocupaciones en la salud y la calidad de aire, según Tsolakis, Hernandez, Megaritis, & Crampton, (2005), “Han informado de que las partículas de diésel puede tener efectos graves en la salud humana, y se clasifican como probables carcinógenos para humanos” de tal manera surgió el interés de investigar un método para que este combustible sea más sostenible y más limpio.

El uso del hidrógeno (H_2) como combustible alternativo es atractivo ya que Biplab, Ujjwal, & Sahoo, (2014), nos dice que sus ventajas son: no tóxico, no carbonífera y posee gran potencial. La investigación de Madhujit, Sastry, Panua, Banerjee, & Bose, (2015), expone que “el hidrógeno es un gas incoloro que no causa ningún impacto ambiental o de salud directo”. Mientras tanto en su investigación Kumar & Senthil, (2015), comenta que “el hidrógeno puede ser comercialmente formado por diferentes procesos como la electrólisis del agua y por la gasificación del carbón”.

El estudio de mezclar el hidrógeno con el diésel como combustible secundario y combustible común respectivamente ya ha sido realizado con resultados muy alentadores tanto en mejora de eficiencia mecánica del motor como para la disminución de sus residuos contaminantes de esta manera resuelve indirectamente el problema de contaminación ocasionado por el uso del diésel en motores (CI). La investigación de Madhujit, Sastry, Panua, Banerjee, & Bose, (2015), expone que el hidrógeno posee propiedades únicas de combustión lo cual hacen que el hidrógeno sea ideal para los motores de encendido por compresión (CI) debido a que mediante la auto-ignición del diésel puede actuar como un piloto para combustionar el hidrógeno. Según Talibi, Hellier, Balachandran, & Ladommatos, (2014), el hidrógeno requiere una cantidad muy baja de energía para encender pero tiene tasas de propagación de llama alta dentro del cilindro del motor en comparación con los combustibles de hidrocarburos, incluso en condiciones de mezcla pobre. Los resultados obtenidos al adicionar hidrógeno en diferentes proporciones en un motor diésel según Ferryman por Sandalci & Tarkan, (2014), fueron una reducción en las emisiones de CO_2 de 46%, CO de 33% y la cantidad de humos en un 25% pero un aumento de NO_x del 58,8% cada una con el más alto porcentaje de hidrógeno (46%).

El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, (2015), de la República del Ecuador en su balance energético nacional emitido en el 2015 menciona que el 86% de la utilización del combustibles es terrestre del cual el 18% es de vehículos de carga liviana, y en relación al parque automotor que utiliza el combustible diésel está en segundo lugar detrás de los vehículos de

carga pesada con un 19% los vehículos de carga liviana, por ende es una categoría considerable para realizar el estudio de la influencia del hidrógeno en la autoinflamación con diésel.

Según la AEADE, (2015) (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) la marca Chevrolet se ubica en el primer lugar de vehículos más vendidos en los últimos cinco años, para el año 2015 su participación a nivel nacional es del 49,52% para el mismo año sus porcentajes de participación según su tipo de vehículos son: automóviles (48%), SUV'S (23%) y camionetas (19,2%), este último indica una influencia de este tipo de vehículos en el parque automotriz. El modelo Dmax CRDI 3.0 4X4 ocupa el primer lugar de camionetas más vendidas en el 2015 con 2679 unidades, modelo en la cual se realizó la implementación e investigación mencionada.

1.2 Planteamiento del problema

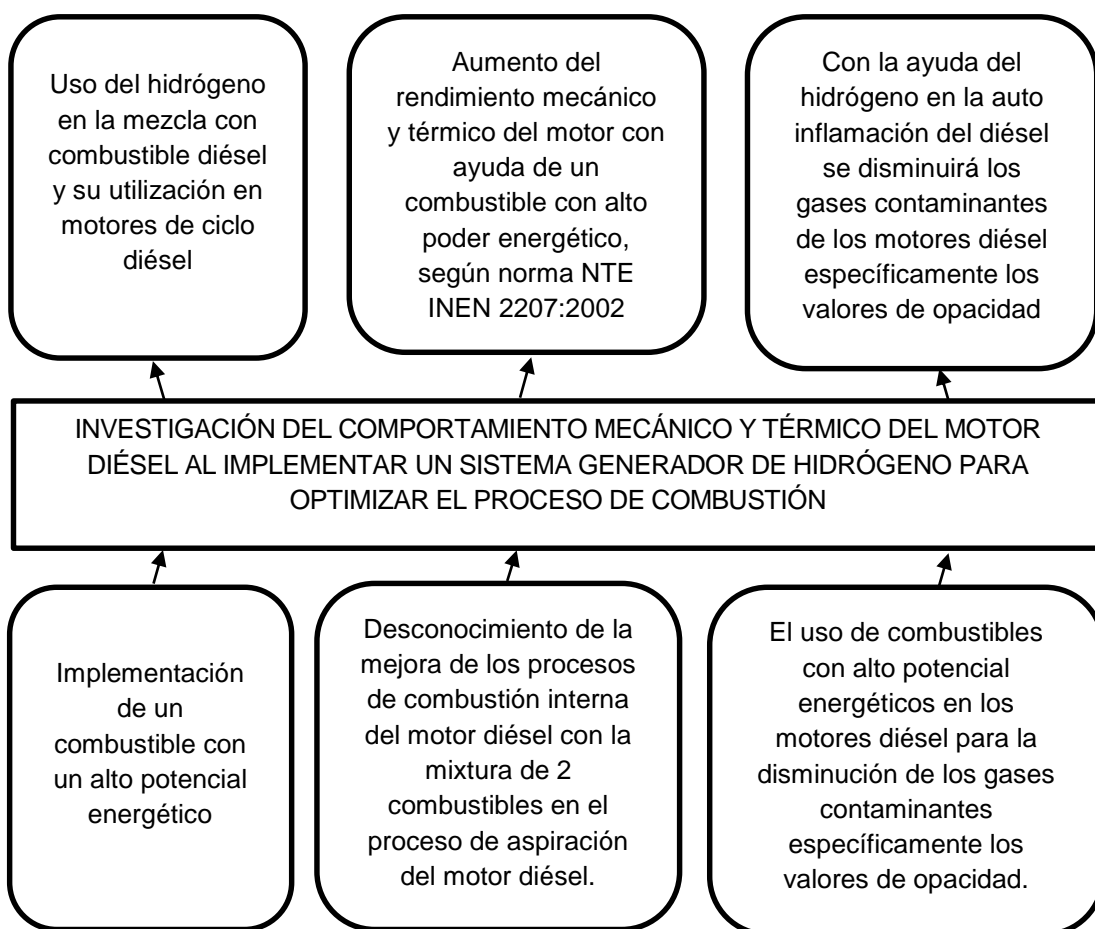


Figura 1. Diagrama causa efecto

La investigación llegó a originarse por motivo de la problemática de la contaminación ambiental a causa de la combustión de combustibles derivados de recursos fósiles. Específicamente la alta opacidad en los gases de escape y una elevada cantidad de humo de los motores diésel.

La utilización de un combustible con un alto potencial energético son una fuente alternativa para lograr la disminución de los factores contaminantes dichos anteriormente, por tal motivo se optó por la utilización de otros recursos como el agua para la obtención de hidrógeno y en combinación con el combustible diésel lograr la disminución de los gases contaminantes emergentes por la combustión interna de motores diésel.

Con la utilización de combustibles de producción nacional que cumplen todas las normativas vigentes, siendo estas las que se comercializan en el país se tendría como bases para optimizarlo con otra sustancia (hidrógeno) con lo que lograría elevar su poder energético y de esta manera llegar a unas mejores prestaciones mecánicas y térmicas del motor diésel.

Es menester de los Institutos de Educación Superior la investigación sobre la protección y cuidado del medio ambiente, ya que nuestro país contiene elevados niveles de gases contaminantes, por tal motivo se enfocó la investigación en el uso de nuevos combustibles y nuevas tecnologías.

1.3 Descripción resumida del proyecto

Se recopiló información que ayudó en la obtención de datos, conceptos y definiciones para presentar fundamentos teóricos y experiencias prácticas y de tal manera conseguir una base teórica firme que fundamentó la investigación.

Se fundamentó los requerimientos técnicos del sistema generador de hidrógeno como el número de placas, corriente consumida por el mismo, voltaje necesario de funcionamiento y caudal total a producir calculado

mediante la aplicación de la ley de Faraday y de tal manera aprovechar todo el desempeño del mismo.

Se determinó un equipo encargado de la obtención de hidrógeno a partir del principio de la electrólisis un método seguro y eficiente que consiste en descomponer una sustancia por medio de la electricidad. El equipo usado fue el generador de hidrógeno HE4-3500 el cual contiene placas de acero inoxidable sumergidas en agua con adición de un electrolito el cual fue el Hidróxido de Potasio (sustancia que ayuda a mejorar la eficacia de la electrólisis) y con la presencia de corriente continua tomada de la batería del mismo vehículo permite disociar el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno de manera separada y segura.

Se implementó el equipo encargado de la obtención de hidrógeno en el vehículo Chevrolet modelo Dmax 3.0 L 4X4, cuyo equipo dispone de dos salidas una de hidrógeno (H₂) y otra de oxígeno (O₂). Se realizó una conexión entre la salida del hidrógeno y el múltiple de admisión mediante una manguera entre estas un circuito PWM HHO RC -10000137 que se encargaba de regular la corriente total generada por el vehículo y de tal manera controló las diferentes proporciones de ingreso del hidrógeno en 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total producida por el generador que se mezcló con el aire y mediante la absorción que produce el motor la mezcla ingresó a cada cilindro cuya combustión fue producida por la inyección a alta presión de diésel.

Se efectuó pruebas mecánicas de torque y potencia con su sistema de inyección estándar y dosificado de hidrógeno en diferentes porcentajes, con la ayuda de un dinamómetro de chasis Dyomite 4400 2wd IO Chassis Dyno, ubicada en la ciudad de Quito sector norte en el taller automotriz “Dinamyca competición” cuyo equipo desarrolló dichas pruebas bajo las normas SAE, DIN, SIN, EWG, ISO o JIS.

Se realizó también la prueba para analizar los gases combustionados como son el CO, HC, CO₂, O₂ y NO_x, como también la prueba de opacidad y de esta manera se verificó los cambios de los índices permitidos de

contaminación mediante la norma NTE INEN 2207 - 2202, para cada porcentaje de hidrógeno ingresado en el múltiple de admisión.

Se desarrolló tres tipos de procedimientos para determinar el consumo de combustible dinámico, entre estas tenemos:

- La prueba usada para determinar el consumos de combustible en carretera que está basada en la FTP (Federal Test Procedure) 75.
- La prueba ECE-15 + EUDC está formada por cinco etapas bien definidas (4 veces ECE-15 y una EUDC) y es el equivalente de la unión Europea al FTP-75 de estados unidos ya que se emplea para la certificación y homologación de vehículos livianos.
- La prueba NYCC (New York City Cycle) simula la conducción urbana con velocidades bajas y frecuentes paradas.

Se realizó el cálculo de parámetros técnicos del motor de combustión interna partiendo de los datos obtenidos en las pruebas experimentales de torque, potencia y consumo de combustible. Como parte final de la investigación se justificó los resultados obtenidos de una forma técnica y experimental.

1.4 Justificación e importancia

El Buen Vivir es la forma de vida que permite la felicidad y la permanencia de la diversidad cultural y ambiental; es armonía, igualdad, equidad y solidaridad; utilizando el talento humano, la investigación, la tecnología y la innovación para la ayuda al bienestar de todos, utilizando nuevos métodos para la minimización de los agentes contaminantes del medio ambiente.

El Plan Nacional del Buen Vivir en el ítem de sustentabilidad ambiental (5.1.3), manifiesta que las condiciones ambientales urbanas no cumplen con parte o con todos los criterios de calidad ambiental de aire, se tiene que las emisiones vehiculares no controladas son la fuente principal de

contaminación del aire en las áreas urbanas, añadiéndole las tendencias de crecimiento del parque automotor se tiene que estos problemas se agravan por tal motivo es esencial la búsqueda de nuevos combustibles o mecanismos que ayuden a mitigar estos problemas de contaminación.

Tomando en cuenta uno de los objetivos del mismo Plan Nacional del Buen Vivir el cual menciona en el objetivo 2 inciso 7 “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global” por tal motivo es esencial buscar alternativas que ayuden a disminuir estos riesgos por ende se realizó la implementación del hidrógeno en la admisión del motor diésel para lograr la potencialización del combustible y de esta manera disminuir los factores contaminantes producidos por la auto inflamación del diésel.

De la misma manera el Programa de Gobierno 2013-2017, en el apartado Revolución Ecológica, plantea como prioridad la inserción de tecnologías ambientales limpias, así como la prevención, el control y la mitigación de la contaminación; llevando al mismo punto de la ayuda al medio ambiente limitando la contaminación con tecnologías que ayuden a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por los motores diésel, siendo un aporte la implementación del hidrógeno que cumplirá los objetivos del programa de gobierno, disminuyendo los factores de contaminación en los motores de ciclo diésel.

Según el balance energético emitido en el 2015 menciona que el combustible diésel es el principal combustible que se demanda en el país (1507 millones de galones en 2014). Siendo el transporte el principal consumidor de este con un 65% de un total de 29947 kBEP (kilo Barriles Equivales de Petróleo) o 1225 millones de galones de este combustible, convirtiéndose así en el de mayor utilización en el transporte con un 45% a comparación del otro combustible comercial gasolina con un 41% por tal motivo optamos por realizar nuestro estudio en este combustible ya que su alto consumo nos motiva para buscar una solución para ayudar al ecosistema

limitando los gases contaminantes emitentes de las máquinas que funcionan con este combustible

Según el mismo balance energético emitido en el 2015 menciona que el 86% de la utilización del combustibles es terrestre, el cual el 18% es de vehículos de carga liviana y en esta categoría está comprendida la camioneta Dmax CRDI 3.0 L, y en relación al parque automotor que utiliza el combustible diésel está en segundo lugar detrás de los vehículos de carga pesada con un 19% los vehículos de carga liviana por ende es una categoría considerable para realizar el estudio de la influencia del hidrógeno en la auto inflamación con diésel y de esta manera encontrar una solución para la contaminación emitente de estos vehículos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Investigar el comportamiento mecánico y térmico del motor diésel al implementar un sistema generador de hidrógeno para optimizar el proceso de combustión.

1.5.2 Objetivos específicos

- Recopilar información confiable para conseguir una base teórica firme para fundamentar la investigación como son artículos científicos, tesis, libros, manuales, normas y fichas técnicas.
- Fundamentar los requerimientos técnicos del sistema generador de hidrógeno necesarios para aprovechar su total funcionamiento.
- Seleccionar el generador de hidrógeno que tenga una producción óptima que satisfaga los parámetros de la investigación.
- Implementar el equipo encargado de la obtención de hidrógeno en el vehículo Chevrolet Dmax CRDI 3.0 L 4x4.

- Controlar el paso de hidrógeno en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% de la producción total del generador mediante un circuito eléctrico regulador de amperaje PWM HHO RC -10000137.
- Realizar las pruebas mecánicas y térmicas en el vehículo con su sistema de alimentación estándar y adicionado hidrógeno.
- Tabular los datos obtenidos, para elaborar un registro de las variaciones en manera porcentual de emisiones de gases y de los parámetros característicos en el motor diésel de la camioneta Dmax 3.0 L 4x4.

1.6 Metas

- Reducir la opacidad de los gases de escape del motor diésel de la camioneta Dmax CRDI con la adición de hidrógeno por el múltiple de admisión en un 50%.
- Incrementar los parámetros mecánicos de torque y potencia de la camioneta Dmax CRDI con la implementación del generador de hidrógeno de un 2% al 3%.

1.7 Hipótesis

- ¿El uso de hidrógeno ingresado en el depurador en diferentes proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total del generador de hidrógeno HE4-3500, para el trabajo del motor diésel permitirá la reducción de opacidad de la camioneta Dmax CRDI?
- ¿La adición de hidrógeno por el múltiple de admisión del motor diésel de la camioneta Dmax CRDI en diferentes proporciones (25% 50% 75% 100% de la capacidad del generador de hidrógeno HE4-3500) nos favorecerá en los parámetros característicos del motor como son torque y potencia con un aumento de 2% al 3%, y un 18% de ahorro de combustible?

1.8 Variables de investigación

Tabla 1:

Variable dependiente: Parámetros térmicos y mecánicos del motor diésel

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
<p>Son las características térmicas y mecánicas que proporciona el hidrógeno para producir trabajo y energía cuando se utiliza como potenciador en motores diésel</p>	<p>Parámetros característicos del motor de combustión</p>	Potencia	KW	Medición	Protocolo de prueba
		Torque	<i>Nm</i>	Medición	Protocolo de prueba
		Régimen	<i>RPM</i>	Medición	Protocolo de prueba
		Presión media efectiva	$\frac{Kgf}{cm^2}$	Cálculo	Ecuaciones
		Consumo de combustible	$\frac{lt}{Km}$	Medición	Protocolo de prueba
		Velocidad angular	$\frac{rad}{s}$	Cálculo	Ecuaciones
		Caudal de combustible	$\frac{m^3}{h}$	Cálculo	Ecuaciones
		Consumo volumétrico de aire teórico	$\frac{m^3}{min}$	Cálculo	Ecuaciones
		Consumo másico de combustible	$\frac{kg}{h}$	Cálculo	Ecuaciones
		Relación aire combustible	--	Medición	Protocolo de prueba
		Consumo másico de aire	$\frac{kg}{h}$	Cálculo	Ecuaciones
		Densidad aire final admisión sobrealimentado	$\frac{kg}{m^3}$	Cálculo	Ecuaciones

CONTINÚA



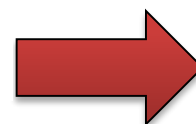
Gases combustiona- dos por el motor de combustión	Índices de contaminación	% HC % CO % CO2 %O % NOx	Medición	Protocolo de prueba
Potencial para producir trabajo y energía	Rendimiento térmico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Rendimiento mecánico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Rendimiento volumétrico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Potencia al freno	kW	Cálculo	Ecuaciones
	Consumo específico de combustible	$\frac{kg}{kW * h}$	Cálculo	Ecuaciones
	Presión media efectiva	kPas	Cálculo	Ecuaciones
	Poder calorífico	Caloría s/ gr	Cálculo	Ecuaciones

Tabla 2:

Variable Independiente: Producción de hidrógeno a partir del proceso de la electrólisis.

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Obtención de hidrógeno por medio de la electrólisis del agua para ser utilizado en motores de ciclo diésel	Características de diseño	Número de placas	<i>Unidades</i>	Cálculo	Ecuaciones
		Capacidad de almacenamiento de agua	m^3	Medición	Protocolo de prueba
		Capacidad de electrolito	m^3	Medición	Protocolo de prueba
		Voltaje	V	Medición Cálculo	Protocolo de prueba Ecuaciones
		Intensidad de Corriente	A	Medición Cálculo	Protocolo de prueba Ecuaciones

CONTINÚA



	Conductividad del electrolito	$\frac{siemens}{cm}$	Cálculo	Ecuaciones
	Volumen	m^3	Cálculo	Ecuaciones
Producción de hidrógeno condición experimental – práctica	Masa producida de hidrógeno	gr	Cálculo	Ecuaciones
	Caudal de hidrógeno	$\frac{lt}{min}$	Cálculo	Ecuaciones
	Densidad	Kg/m^3	Cálculo	Ecuaciones
Propiedades físicas y químicas	Poder calórico	MJ/Kg	Cálculo	Ecuaciones
	Peso molecular	g/mol	Cálculo	Ecuaciones

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

a) Método Inductivo

Se empleó este método para el desarrollo de la investigación la camioneta Dmax diésel, con la adición de hidrógeno en el múltiple de admisión a diferentes porcentajes 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad del generador de hidrógeno, pudiendo extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.

b) Método deductivo

Esta investigación fue deductiva ya que se analizó los resultados obtenidos del análisis de gases, ya que en teoría al adicionar hidrógeno la incidencia e influencia en los valores de NOx (gr/km), opacidad (%) y cantidad de humos; así también en el caso del rendimiento mecánico,

los valores del dinamómetro torque (N*m), potencia (HP) aumentarán y el consumo de combustible será menor.

c) Método de medición

El método de medición se empleó para contrastar los valores obtenidos, mediante la experimentación sobre las emisiones contaminantes que se establezcan dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2207:2002, según el procedimiento definido para la realización de la prueba de opacidad en la Norma NTE INEN 2202:2000; por otra parte las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro según las normas SAE J1349, y el consumo de combustible fue llevado a cabo mediante las pruebas dinámicas FTP 75, ECE-15+EUDC y NYCC que simula el tráfico de la ciudad con rutas urbanas y circulación en carretera.

d) Método comparativo

En esta investigación el método ayudó a comparar los valores obtenidos en las diferentes mediciones de rendimiento térmico y mecánico del motor diésel de la camioneta Dmax diésel con su sistema de alimentación adicionado hidrógeno en diferentes porcentajes (25% 50% 75% y 100%), en las pruebas mecánicas los datos obtenidos bajo la norma SAE J1349 con la que se rige el dinamómetro y se referenció con la ficha técnica de la camioneta adicionado los datos que emitió la prueba con el sistema de alimentación estándar y los datos obtenidos de las pruebas térmicas se comparó con los datos establecidos en la norma NTE INEN 2207:2002.

e) Método de síntesis

Al utilizar este método se logró esquematizar todas las generalidades del proceso de obtención, desarrollo del hidrógeno a partir del agua destilada, y de esta manera se justificó la aplicabilidad en nuestro

medio al disminuir los gases contaminante en especial los valores de opacidad además se verificó los efectos positivos en el rendimiento mecánico del motor de combustión interna mediante las mediciones de torque ($Ft \cdot Lb$ vs RPM), potencia (HP vs RPM), y consumo de combustible (Km vs litros).

f) Método de análisis

Mediante este método se tabuló los datos obtenidos, para elaborar un registro de las variaciones tanto cuando el motor se encontró estándar y adicionado hidrógeno en manera porcentual de emisiones de gases y de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo de combustible) en el motor diésel de la camioneta Chevrolet D-Max.

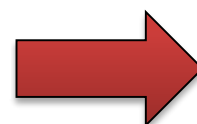
g) Método de matematización

Mediante el método de matematización se obtuvo parámetros técnicos del motor de combustión interna de la camioneta Chevrolet D-Max (ciclo diésel) siendo estos la velocidad angular, el caudal de combustible, el consumo volumétrico de aire, la potencia al freno, el consumo másico de combustible, el rendimiento volumétrico, el consumo másico de aire, la densidad del aire al final de la admisión (sobrealimentado), el consumo específico de combustible, la presión media efectiva y el rendimiento térmico; además empleando los principios de la electrólisis en conjunto con la ley de Faraday se determinará la producción total de hidrógeno producida del generador.

**Tabla 3:
Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto**

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se empleó este método para el desarrollo de la investigación la camioneta Dmax diésel, con la adición de hidrógeno en el múltiple de admisión a diferentes porcentajes 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad del generador de hidrógeno, pudiendo extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.	Camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI diésel Generador de hidrógeno HE4-3500	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo • Laboratorio de autotrónica
Deductivo	Esta investigación fue deductiva ya que se analizó los resultados obtenidos del análisis de gases, ya que en teoría al adicionar hidrógeno la incidencia e influencia en los valores de NOx (gr/km), opacidad (%) y cantidad de humos; así también en el caso del rendimiento mecánico, los valores del dinamómetro torque (N*m), potencia (HP) aumentarán y el consumo de combustible serán menor.	Dinamómetro Dyomite 4400 2wd IO Chassis Dyno Analizador de opacidad Cartek Analizador de gases y NOx AGS688	Taller Dinamyca Competición Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo • Laboratorio de autotrónica

CONTINÚA



Medición	<p>El método de medición se empleará para contrastar los valores obtenidos, mediante la experimentación sobre las emisiones contaminantes que se establezcan dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2207:2002, según el procedimiento definido para la realización de la prueba de opacidad en la Norma NTE INEN 2202:2000; por otra parte las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro según las normas SAE J1349, y el consumo de combustible será llevado a cabo mediante las pruebas dinámicas en estado transitorio FTP 75, ECE-15+EUDC y NYCC que simula la carga instantánea que da la carretera y la potencia necesaria para acelerar la masa inercial de cada vehículo.</p>	<p>Dinamómetro Dyomite 4400 2wd IO Chassis Dyno</p> <p>Analizador de opacidad Brain Bee y Cartek</p> <p>Analizador de NOx AGS688</p>	<p>Taller Dinamyca Competición</p> <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo</p> <ul style="list-style-type: none"> Laboratorio de autotrónica
Comparativo	<p>En esta investigación el método ayudó a comparar los valores obtenidos en las diferentes mediciones de rendimiento térmico y mecánico del motor diésel de la camioneta Dmax diésel con su sistema de alimentación adicionado hidrógeno en diferentes porcentajes (25%</p>	<p>Computador Microsoft Office</p> <ul style="list-style-type: none"> Word Excel Mathlab 	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo</p>



50% 75% y 100%), en las pruebas mecánicas los datos obtenidos bajo la norma SAE J1349 con la que se rige el dinamómetro y se referenció con la ficha técnica de la camioneta adicionado los datos que emitió la prueba con el sistema de alimentación estándar y los datos obtenidos de las pruebas térmicas se comparó con los datos establecidos en la norma NTE INEN 2207:2002.

De síntesis

Al utilizar este método se logró esquematizar todas las generalidades del proceso de obtención, desarrollo del hidrógeno a partir del agua destilada, y de esta manera se justificó la aplicabilidad en nuestro medio al disminuir los gases contaminante en especial los valores de opacidad además se verificó los efectos positivos en el rendimiento mecánico del motor de combustión interna mediante las mediciones de torque ($Ft \cdot Lb$ vs RPM), potencia (HP vs RPM), y consumo de combustible (Km vs litros)

Computador
Microsoft Office

- Word
- Excel
- Mathlab

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo

CONTINÚA



Análisis	Mediante este método se tabuló los datos obtenidos, para elaborar un registro de las variaciones tanto cuando el motor se encontró estándar y adicionado hidrógeno en manera porcentual de emisiones de gases y de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo de combustible) en el motor diésel de la camioneta Dmax.	Computador Microsoft Office <ul style="list-style-type: none">• Word• Excel	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo
-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

Matematización	Mediante el método de matematización se obtuvo parámetros técnicos del motor de combustión interna de la camioneta Chevrolet D-Max (ciclo diésel) siendo estos la velocidad angular, el caudal de combustible, el consumo volumétrico de aire, la potencia al freno, el consumo másico de combustible, el rendimiento volumétrico, el consumo másico de aire, la densidad del aire al final de la admisión (sobrealimentado), el consumo específico de combustible, la presión media efectiva y el rendimiento térmico; además empleando los principios de la electrólisis en conjunto con la ley de Faraday se determinará la producción total de hidrógeno producida del generador	Computador Microsoft Office <ul style="list-style-type: none">• Word• Excel• Mathlab	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Belisario Quevedo
-----------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

Conclusiones del capítulo

- Se desarrolló el antecedente de la investigación y el problema se definieron los puntos a ser investigados tales como los objetivos, las metas propuestas y en si el desarrollo del proyecto de investigación.
- Para conseguir los objetivos de la investigación se empleó una metodología que fue útil en los procesos que se desarrollaron para el cumplimiento de lo propuesto.
- Se expuso la eficacia al realizar la investigación ya que se explicó cada ítem a ser desarrollado en el proceso del estudio.

CAPÍTULO II

En este capítulo se realizó la recolección de información usando materiales como libros, artículos científicos, páginas web certificadas y confiables, bases digitales, entre otros con el fin de sustentar el uso del hidrógeno como combustible para mejorar el desempeño de un motor de combustión interna diésel ya que se caracteriza por tener un alto potencial energético y no causar ningún tipo de impacto ambiental.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motor diésel

2.1.1 Principios de funcionamiento de los motores diésel

El principio de funcionamiento del motor diésel se basa en el autoencendido. Puede llegar a una relación de compresión entre 14 y 24, alcanzando elevadas temperaturas. Después el combustible es inyectado finamente pulverizado a presiones que pueden alcanzar los 2000 bar. El combustible inyectado se combustiona al tener contacto con la aire caliente que produce la explosión que impulsa el pistón hacia abajo.

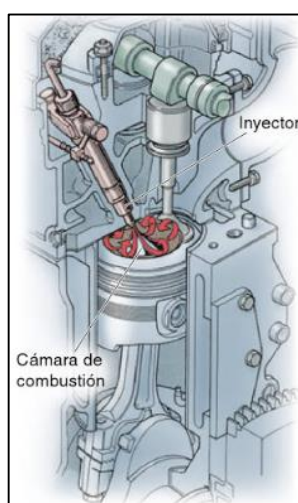


Figura 2 Motor diésel

Fuente: (Sanz, 2011)

Su ciclo de funcionamiento se realiza en cuatro tiempos:

- Admisión de aire puro 1-2
- Compresión 2-3
- Inyección, combustión y expansión 3-4 y 4-5
- Escape de los gases quemados 2-1

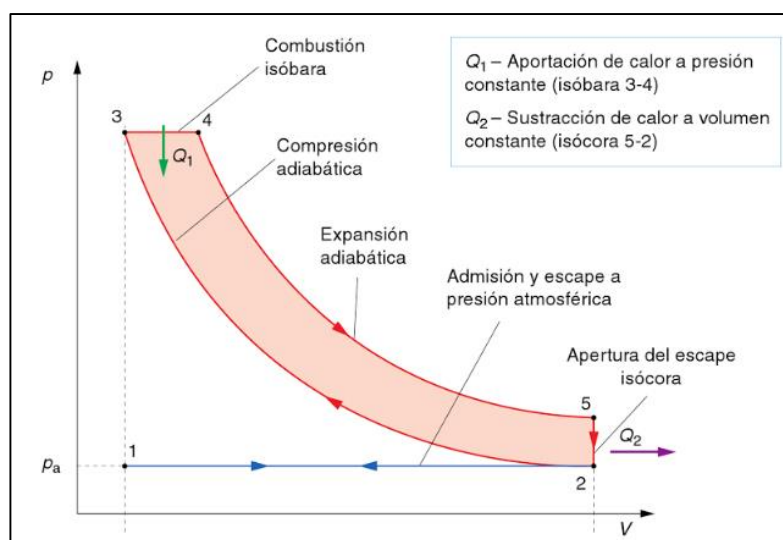


Figura 3. Ciclo de trabajo motor diésel

Fuente: (Sanz, 2011)

2.1.2 Combustible

Según Sanz, (2011), comenta que el motor diésel consume generalmente gasóleo: un carburante que se obtiene por destilación del petróleo, su densidad de 0,81 a 0,85 Kg/L a 15°C y poder calorífico de unos 42000 KJ/Kg que equivale a 10000 Kcal/Kg.

Este combustible debe inflamarse rápidamente al tomar contacto con el aire comprimido en el momento de ser inyectado es decir su temperatura de inflamación debe ser baja. Su facilidad de combustionar se mide de acuerdo al índice de cetano, cuanto mayor es menor será la temperatura de combustión.

2.1.3 Torque

En su estudio Merchan, (2004), afirma que el torque es la cualidad de generar potencia, se define como “La tendencia que tiene la fuerza a hacer girar un cuerpo sobre el que actúa”, o la capacidad para vencer una carga externa. Las unidades en las que se mide para el sistema métrico newton por metros (N*m) y para el sistema ingles libras por pies (Lb*ft). En términos automotrices el torque es la magnitud de la fuerza de rotación ejercida por el cigüeñal, y varía según las revoluciones por minuto (rpm).

$$T = F * d$$

Ecuación 1: Par motor o torque

Fuente: (Merchan, 2004)

Donde:

T: Torque N*m

F: Fuerza de empuje

d: Distancia o radio del árbol del cigüeñal

2.1.4 Potencia al freno

Según Asas Chicaiza & Erazo, (2017), “la potencia la freno es la rapidez con la que se intercambia energía entre dos sistemas o un sistema y el medio durante cierto tiempo. En mecánica es la potencia que el motor entrega al volante de inercia”. Conocida también como potencia efectiva donde se representa con la fórmula:

$$P_f = T * \omega$$

Ecuación 2: Potencia al freno

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

T: Torque del motor (N.m)

ω : Velocidad angular ($\frac{rad}{s}$)

P_f : Potencia al freno (KW)

La potencia también puede ser calculada en función de las revoluciones por minuto (rpm) a las que gira el motor donde puede considerarse la siguiente expresión.

$$P_f = \frac{T * n}{30 * \pi}$$

Ecuación 3: Potencia al freno en función de las revoluciones

Fuente: (Merchan, 2004)

Donde:

T : Par motor o torque (N*m)

n : Revoluciones de motor (rpm)

2.1.5 Velocidad angular

Se puede definir como el arco completo que gira el cigüeñal en un tiempo determinado la cual se expresa en radianes por segundo es decir la frecuencia de giro por unidad de tiempo representado en la siguiente formula.

$$\omega = \frac{2 * \pi * \bar{N}}{60}$$

Ecuación 4: Velocidad angular

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

\bar{N} : Arco total de giro del cigüeñal (rpm)

ω : velocidad angular (rad/s)

2.1.6 Caudal de combustible

Se considera a la cantidad de combustible que circula por el sistema de alimentación en un tiempo determinado. Según Asas Chicaiza & Erazo, (2017), “el caudal de combustible es conocido como el consumo volumétrico y puede ser medido por un caudalímetro integrado al sistema o midiendo en cuanto tiempo se consumió cierto volumen de combustible” representado por la siguiente ecuación.

$$\dot{V}_C = \frac{V_P}{t}$$

Ecuación 5: Caudal de combustible

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

V_P : Volumen de combustible (cm^3)

t : Tiempo transcurrido en el consumo (segundos)

\dot{V}_C : Caudal de combustible ($\frac{cm^3}{s}$)

2.1.7 Consumo volumétrico de aire teórico

Está definido como la cantidad teórica de aire que debe llenarse el cilindro, donde se deprecia las condiciones ambientales de la atmosfera como temperatura, humedad, altura atmosférica, etc. Representada por la fórmula:

$$VD = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * (s) * (i) * \left(\frac{\bar{N}}{60 * Ki} \right)$$

Ecuación 6: Consumo volumétrico de aire teórico

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

D : Diámetro del cilindro (m)

s : Recorrido o carrera del pistón (m)

i : Número de cilindros del motor

Ki : Constante del dinamómetro (segundos)

VD : Consumo volumétrico de aire teórico ($\frac{cm^3}{min}$)

2.1.8 Consumo másico de combustible

Está definido como la cantidad de masa de combustible que consume el motor al realizar la mezcla aire combustible durante su trabajo, obtenido por la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_c = \dot{V}_c * \rho_{diesel}$$

Ecuación 7: Consumo másico de combustible

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

\dot{m}_c : Consumo másico de combustible ($\frac{Kg}{h}$)

\dot{V}_c : Caudal de combustible ($\frac{cm^3}{s}$)

ρ_{diesel} : Densidad del diésel (g/cm^3)

2.1.9 Relación aire-combustible

Presenta la cantidad de aire que se mezcla con una unidad de combustible en el momento de compresión y explosión del motor la cual es la relación que existe entre el flujo másico del aire y flujo másico del combustible.

$$RAF = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

Ecuación 8: Relación aire-combustible

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

\dot{m}_a : Consumo másico de aire ($\frac{Kg}{h}$)

\dot{m}_c : Consumo másico de combustible ($\frac{Kg}{h}$)

RAF : relación de aire-combustible

2.1.10 Densidad del aire para motores sobrealimentados

La presión de admisión para motores sobrealimentados está definida según la investigación de Mena, (2011), definiendo la fórmula:

$$P_a = 0,9 * P_s$$

Ecuación 9: Presión de sobrealimentación

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

P_a : Presión de admisión (Psi)

P_s : Presión de sobrealimentación por un turbo (Psi)

La densidad del aire de admisión sobrealimentado se define con la fórmula:

$$\rho_{as} = \frac{0,9 * P_s}{P_o} * \rho_o$$

Ecuación 10: Densidad del aire de sobrealimentación

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

P_o : Presión atmosférica (Psi)

P_s : Presión de sobrealimentación por un turbo (Psi)

ρ_o : densidad del aire ($\frac{Kg}{m^3}$)

ρ_{as} : densidad del aire de sobrealimentación ($\frac{Kg}{m^3}$)

2.1.11 Eficiencia volumétrica

Es aquella medida que presenta la efectividad con la que se llena el cilindro en la renovación de carga del motor. En su investigación Asas Chicaiza & Erazo, (2017), expresa que la eficiencia volumétrica es “el caudal volumétrico de aire en el sistema de admisión dividido por la velocidad en la que el volumen es desplazado por el pistón”.

$$n_v = \frac{\dot{m}_a}{VD * \rho_{as}}$$

Ecuación 11: Eficiencia volumétrica

Fuente: (Asas Chicaiza & Erazo, 2017)

Donde:

\dot{m}_a : Consumo másico de aire ($\frac{Kg}{h}$)

n_v : Rendimiento volumétrico (%)

VD : Consumo volumétrico de aire teórico ($\frac{cm^3}{min}$)

ρ_{as} : densidad del aire de sobrealimentación ($\frac{Kg}{m^3}$)

2.1.12 Consumo específico de combustible

En su investigación Asas Chicaiza & Erazo, (2017), menciona que “El consumo específico de combustible es la cantidad de combustible usado para producir una cantidad de trabajo o determinada potencia”. Representada por la fórmula:

$$CEC = \frac{\dot{m}_c}{P_f}$$

Ecuación 12: Consumo específico de combustible

Fuente: (Erazo, 2013)

Donde:

m_c : Consumo másico de combustible ($\frac{Kg}{h}$)

P_f : Potencia al freno (KW)

CEC : Consumo específico de combustible ($\frac{g}{KW \cdot h}$)

2.1.13 Presión media del ciclo

Como menciona Wladyslaw, (2014), “la presión media efectiva es la presión teórica constante que se ejerce durante cada carrera de potencia del motor en el tiempo de explosión, para producir una potencia igual a la indicada”. Definida por la fórmula:

$$P_{mc} = \frac{T}{Vh} * i$$

Ecuación 13: Presión media efectiva

Fuente: (Erazo, 2013)

Donde:

P_f : Potencia al freno (KW)

VD : Consumo volumétrico de aire teórico ($\frac{cm^3}{min}$)

PME : Presión media efectiva (KPa)

2.1.14 Eficiencia térmica

En su libro Wladyslaw, (2014), define que “es el rendimiento de la conversión del calor producido en un proceso de combustión en trabajo, obtenido para un ciclo del motor”. La cual se presenta la siguiente fórmula:

$$\eta_t = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1) * (k - 1)}{P_a * \varepsilon^k * k * (\rho - 1)}$$

Ecuación 14: Eficiencia térmica

Fuente: (Erazo, 2013)

Datos:

P_{mc} : Presión media del ciclo (Pa)

n_t : Rendimiento térmico (%)

ε : Relación de compresión del motor

P_a : Presión atmosférica (Pa)

k : Coeficiente adiabático (1,41)

ρ : Grado de expansión previa

2.1.15 Rendimiento mecánico

Es la relación entre la potencia al freno y la potencia indicada, donde se considera las pérdidas que se producen por fricción entre los mecanismos del motor y en los elementos auxiliares como bombas, alternador, etc.

$$nm = \frac{Pf}{Pi} * 100$$

Ecuación 15: Rendimiento mecánico

Fuente: (Erazo, 2013)

Donde:

Pf : Potencia al freno (hp)

Pi : Potencia indicada (hp)

nm : Rendimiento mecánico (%)

2.1.16 Rendimiento indicado

Según expresa la Universidad de Valladolid, (2014) El rendimiento indicado “es la calidad con que se transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica sobre el pistón”.

$$ni = \frac{nt}{nm} * 100$$

Ecuación 16: Rendimiento indicado

Fuente: (Erazo, 2013)

Donde:

nt: Rendimiento térmico

nm: Rendimiento mecánico

ni: Rendimiento indicado (%)

2.2 Hidrógeno

El hidrógeno según Celsi & Santiago, (2003), menciona que es:

Primer elemento de la tabla periódica. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas, H₂. Es la más liviana de las sustancias conocidas. Es uno de los constituyentes principales del agua y de toda la materia orgánica, y está distribuido de manera amplia no sólo en la Tierra sino en todo el universo. El gas tiene una densidad de 0.071 g/l a 0°C y 1 atm. Su densidad relativa, comparada con la del aire, es de 0.0695. El hidrógeno es la sustancia más inflamable de todas las que se conocen. (p. 123)

2.2.1 Métodos de obtención de hidrógeno ventajas

En su libro Eduard, (2005), manifiesta que el hidrógeno tiene algunas ventajas como que:

El H₂ como combustible de vehículos eliminará al menos la mitad de la actual contaminación atmosférica además que el hidrógeno obtenido por la electrólisis convencional llega a ser más barato que el combustible convencional en términos general dependiendo del precio actual del petróleo. (p. 328)

Mientras tanto Carrillo, (2007), menciona:

El hidrógeno es un combustible extraído del agua, la cual es un recurso muy abundante e inagotable en el mundo; así también en la realización de la combustión del hidrógeno con el aire es limpia, evitando la contaminación del medio ambiente. Los productos de la combustión en su mayoría son vapores de agua, productos no contaminantes. La temperatura de autoignición del hidrógeno es solamente de 585 °C.

En su estudio Rotterdamseweg, (2016), expone que “Una máquina de

combustión interna que utiliza hidrógeno como combustible puede ser ajustada para que la emisión de NOx sea 200 veces menor que la de los vehículos actuales”.

2.2.2 Métodos de obtención de hidrógeno desventajas

Como lo menciona Carrillo, (2007) el hidrógeno:

Como no es un combustible primario entonces se incurre en un gasto para su obtención, además requiere de sistemas de almacenamiento costosos y poco desarrollados y su elevado precio del hidrógeno puro. Además posee riesgos de inhalación, físicos, químicos y una elevada concentración en el aire provocaría una deficiencia de oxígeno con el riesgo de inconsciencia o muerte.

Argumenta Eduard, (2005), que “No existe la producción masiva de hidrógeno como combustible, ni la distribución de este producto en estaciones de servicio siendo este líquido o gas”. (p. 330)

2.2.3 Usos

En su investigación Eduard, (2005), menciona:

El hidrógeno se utiliza en la manufactura de productos químicos orgánicos, además se está implementando en la metalurgia de algunos metales como Cu, Zn, Pb destacando el hierro para evitar la contaminación en su producción. Este elemento también se utiliza en usos industriales alimentarios, de construcción, refinación del petróleo entre otros. Además de la generación de luz, calefacción y para la cocción de alimentos. Grandes cantidades de hidrógeno se emplean como combustible de cohetes, en combinación con oxígeno o flúor, y como un propulsor de cohetes impulsados por energía nuclear. (p.p. 311-315)

2.3 Electrólisis

En su estudio Izcalli & Cuautitlán, (2008), manifiestan:

La electrólisis es un proceso para separar un compuesto en los elementos que lo conforman, usando para ello la electricidad en el cual se funde o se

disuelve el electrólito en un determinado disolvente, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones (ionización). Se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la disolución. El electrodo conectado al polo negativo se conoce como cátodo, y el conectado al positivo como ánodo. Cada electrodo mantiene atraídos a los iones de carga opuesta. Así, los iones negativos, o aniones, son atraídos al ánodo, mientras que los iones positivos, o cationes, se desplazan hacia el cátodo.

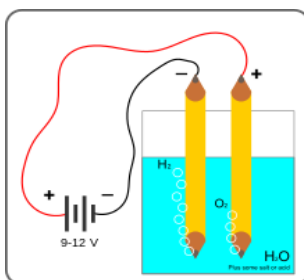


Figura 4. Electrólisis del agua

Fuente: (Rotterdamseweg, 2016)

2.4 Leyes de Faraday

Las leyes de la electrólisis expresan relaciones cuantitativas basadas en la investigación electroquímica publicada por Michael Faraday en 1834.

Según Izcalli & Cuatulilán, Olimpia, (2008), menciona que el principio fundamental de la electrólisis es la ley de Faraday. Mediante dicha ley es posible el cálculo de la cantidad de metal que se ha depositado uniformemente sobre otro, mediante un proceso electroquímico durante un tiempo parcial.

2.4.1 Primera ley de Faraday

Según Raymond & Vuille, (2012), enuncia que “la masa de un componente expuesta con un electrodo durante el proceso de electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad entregada a este electrodo. La cantidad de electricidad es la carga eléctrica entregada que es medida en Coulombs.”

Tabla 4.

Representación de la carga eléctrica según el elemento químico

Proceso	Cantidad depositada	Moles e^{-1} necesario	Carga eléctrica
$K^+ + 1e^- \rightarrow K$	1 mol K	1 mol e^{-1}	96500 C= 1F
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	1 mol Mg	2 mol e^{-1}	2*96500 C= 2F
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	1 mol Al	3 mol e^{-1}	3*96500 C= 3F

Fuente: (Raymond & Vuille, 2012)

2.4.2 Segunda ley de Faraday

En su libro Raymond & Vuille, (2012), expone:

Para una determinada cantidad de carga eléctrica, la masa de una sustancia química colocada en un electrodo, es directamente proporcional al peso equivalente del elemento. El peso equivalente de una sustancia es igual a su masa molar dividida para un entero que depende de la reacción en la que se encuentra el material. (p.691)

La forma moderna de la ley de Faraday es:

$$m = \frac{I * t * M}{F * n}$$

Ecuación 17: Formula moderna de la ley de Faraday

Fuente: (Raymond & Vuille, 2012)

Dónde:

m : Masa de la sustancia producida en el electrodo (gramos)

n : Valencia de la sustancia como ion en la solución (coulombus)

F : 96500 C mol⁻¹ es la constante de Faraday

M : Masa molar de la sustancia (gramos por mol)

I : Corriente eléctrica (Amperios)

t : Tiempo transcurrido (segundos)

2.4.3 Conductividad eléctrica

En su investigación Ingaña, (2010), resalta que:

Que la conductividad es la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental.

En su proyecto de investigación Jesús, Velástegui, & Erazo, (2015), menciona que:

La resistencia R tiene como recíproco de la conductividad G de una solución en la cual se mide utilizando dos electrodos químicamente inertes y fijos espacialmente y sus unidades se pueden expresar en una igualdad de $1/\Omega = \text{Siemens}$.

La conductividad de una solución se define como directamente proporcional al área superficial de un electrodo A (cm^2), e inversamente proporcional a la distancia entre electrodos l, (cm). Donde la unidad de medición de G es Siemens/cm

$$G = K * \frac{l}{A}$$
$$G = \frac{1 * l}{R * A} ; G = \frac{cm}{\Omega * cm^2}$$
$$G = \frac{I * l}{V * A} ; G = \frac{\text{Siemens}}{cm}$$

Ecuación 18: Ecuación de conductividad del electrolito

Fuente: (Jesús, Velástegui, & Erazo, 2015)

Dónde:

G: Conductividad del electrolito

I: Corriente eléctrica (amperios)

l: Espesor de las placas (centímetros)

A: Área de las placas (centímetros)

V: Tensión eléctrica (voltios)

2.5 Resultados mecánicos y térmicos del motor diésel con hidrógeno

En su estudio realizado Kumar, (2015), llegó a obtener valores muy impresionantes con la inyección de hidrógeno en motores diésel sobre todo con la máxima inyección de 8 [l/min], donde la eficiencia térmica al freno se incrementó considerablemente, pero se apreció que las emisiones de NOx a este porcentaje de hidrógeno aumentaron a comparación de una inyección en menos proporción de hidrógeno, pero las emisiones de CO fueron reducidas al ser 0,0015 [g/kWh] con 8 [l/min] de hidrógeno, en comparación con 0,00179 [g/kWh] para el diésel como lo muestra la siguiente imagen.

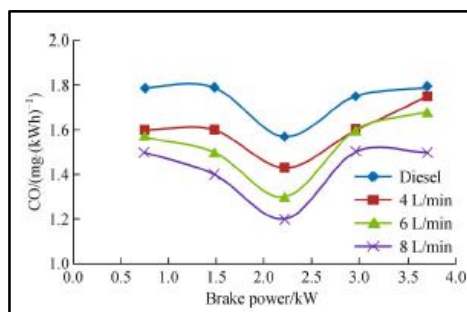


Figura 5. Curva de CO en diferentes cargas

Fuente: (Kumar, 2015)

Y para HC las emisiones bajaron según el estudio de Kumar, (2015), siendo mayor la reducción al incrementar el porcentaje de hidrógeno como lo podemos observar en la siguiente imagen.

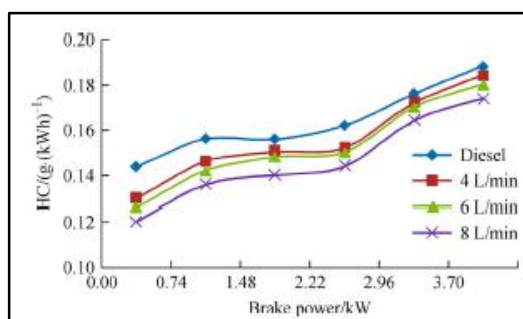


Figura 6. Curva de HC en diferentes cargas

Fuente: (Kumar, 2015)

En su investigación Jhang, (2015), nos manifiesta que tuvo resultados muy favorables con la añadidura de hidrógeno generado por electrólisis de agua con la utilización de un generador, con el cual se proporcionó una pequeña cantidad de hidrógeno en el que afectó a las emisiones totales de hidrocarburos en los inactivos, que fueron las más bajas con el 1,2% mezcla de hidrógeno-diésel en volumen. Las emisiones de NOx dependen de la carga del motor, y reduce las emisiones en ralentí y el 25% de las operaciones de carga.

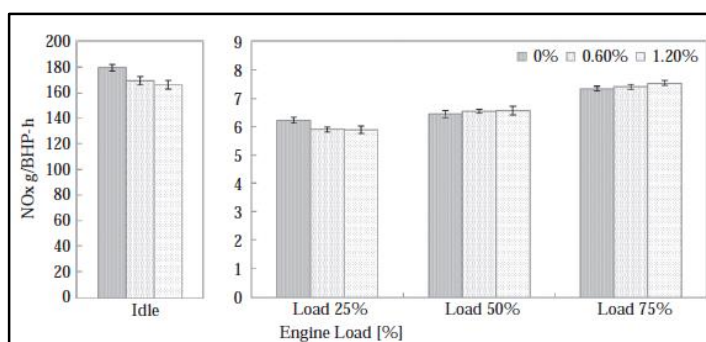


Figura 7. Valores de NOx en diferentes cargas del motor

Fuente: (Jhang, 2015)

Por otra parte Debnath en su investigación nos garantiza el funcionamiento eficiente del motor diésel si se mantiene una proporción 40:60 (diésel-hidrógeno) para lograr mejorar las prestaciones ya sean térmicas o mecánicas, ya que si se aumenta esta proporción la temperatura de combustión se elevaría demasiado y no se lograría tener ninguna mejora en el funcionamiento del motor.

2.6 Características básicas del sistema generador de hidrógeno

2.6.1 Generador de hidrógeno

El generador de hidrógeno es un recipiente herméticamente cerrado, que exteriormente consta de dos salidas cada una para el oxígeno e hidrógeno, y una entrada adicional para el electrolito; en su interior contiene placas de acero inoxidable quirúrgico sumergidas en un electrolito, y que al entregar

electricidad (12 volts del vehículo) por dichas placas, produce hidrógeno que es conducido por mangueras, después se transporta a un recipiente de burbujas (bubbler) que sirve tanto como filtro y medida de seguridad, y luego llega al motor a través del sistema de admisión de aire, para ser consumido inmediatamente y junto con la inyección a alta presión de diésel.

2.6.2 Electrolito

Según Ciquime, (2014), un electrolito es una sustancia que al disolverse en agua, da lugar a la formación de iones. Los electrolitos pueden ser débiles o fuertes, según estén parcial o totalmente ionizados o disociados en medio acuoso. Un electrolito fuerte es toda sustancia que al disolverse en agua, provoca exclusivamente la formación de iones con una reacción de disolución prácticamente irreversible. El papel que juegan es el de mantener el equilibrio de los fluidos en las células para que éstas funcionen correctamente. Los electrolitos principales son el sodio, el potasio y el cloro, y en una medida menor el calcio, el magnesio y el bicarbonato.

2.6.3 Hidróxido de Potasio

Burke, (2014), menciona que el hidróxido de potasio, conocido comúnmente como potasa cáustica se produce en la electrólisis de la salmuera de cloruro de potasio en celdas electrolíticas. Cuando la salmuera de cloruro de potasio es introducida en la celda electrolítica, el proceso resulta en una solución de hidróxido de potasio y productos conjuntos de cloro e hidrógeno.

El electrolito es importante porque es lo que usan generadores de hidrógeno para mantener la tensión correcta a través de las placas y para llevar la corriente eléctrica a partir de una placa a otra. El electrolito hace que el agua se comporte mejor como conductor porque el agua pura es un aislante y no realizará ninguna conducción de corriente.

2.6.4 Mangueras

La manguera es un instrumento que se utiliza para transportar líquidos o gases de un recipiente a otro es decir el electrolito. Es un conducto de goma que se utiliza principalmente para el transporte de sustancias líquidas y el traspaso de estas ya sea para formar soluciones o reacciones químicas.

2.6.5 Agua destilada

Guerra, (2013), comenta que es aquella que como todo tipo de agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, cuya molécula se representa químicamente por la fórmula H_2O y que mediante el proceso de destilación se le han eliminado las impurezas e iones.

La destilación se usa para purificar el agua desde hace mucho tiempo, en este proceso los contaminantes disueltos tales como las sales disueltas se quedan en el tanque donde el agua hierve, mientras que el vapor de agua libre de impurezas se eleva hacia fuera.

2.6.6 Módulo de control

El módulo de control es el dispositivo encargado de la parte eléctrica del generador de hidrógeno, su corazón es un circuito PWM HHO RC Controller - 10000137 que controlará el porcentaje de generación de hidrógeno que necesitaremos para las pruebas de la investigación

En su estudio Hurtado & López, (2010), expone que la modulación por ancho de pulso (PWM o Pulse Width Modulation) es una forma muy eficaz de establecer cantidades intermedias de potencia eléctrica entre la máxima potencia y apagado. El PWM básicamente apaga y enciende rápidamente el interruptor que permite el paso de energía. La aplicación de la potencia máxima durante cortos periodos de tiempo no causa ningún problema en la práctica. De hecho el PWM permite que se puedan aplicar potencias máximas superiores a las que se emplean cuando no se hace uso de un PWM, porque

la carga a la que se le aplica esa potencia sufre dicho stress durante pequeños períodos, siempre que el valor medio que vea la carga sea inferior al permitido por el fabricante.

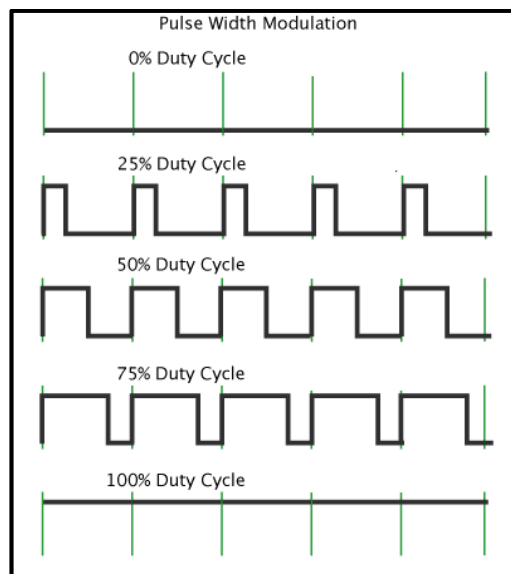


Figura 8. Ciclo de trabajo PWM en el generador de hidrógeno con sus respectivos porcentajes de funcionamiento

Fuente: (Hurtado & López, 2010)

2.7 Emisiones contaminantes

Según INECC, (2010), expone que:

Si la combustión en un motor fuera perfecta, el oxígeno en el aire convertiría todo el hidrógeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono pero el proceso de combustión no es perfecto y, en consecuencia, los motores de los automóviles emiten varios tipos de contaminantes.

- Inofensivas: Nitrógeno, oxígeno, CO₂, hidrógeno y vapor de agua.
- Nocivas: Monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC, óxidos de nitrógeno, plomo y compuestos de plomo Pb, dióxidos de azufre SO₂, hollín, etc.,

2.7.1 Norma INEN 2207

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes

producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diésel.

Los requisitos que establecen la norma son:

- Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de diésel. Ciclos FTP-75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica).
- Toda fuente móvil de diésel que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 5

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	Nox g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos livianos	todos	todos	2,10	0,25	0,62	0,12	
Vehículos medianos	≤ 3860	≤ 1700	6,2	0,5	0,75	0,16	FTP - 75
		> 1700 ≤ 3860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos pesados	> 3860	todos	15,5	1,3	5,0	0,10	Transiente pesado

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012)

Toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 6

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración libre)

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012)

2.7.2 Norma INEN 2202

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diésel mediante el método de aceleración libre.

De acuerdo a la NTE INEN 2202, (2000), menciona que los importadores y distribuidores de opacímetros deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por el fabricante o propietario del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los opacímetros a ser utilizados debe cumplir con la Norma ISO 11614.

En la norma se menciona:

- Requerimientos de los equipos
- Calibración de los equipos
- Procedimiento de la medición

- Informe de resultados

El resultado final será la media aritmética de los valores de las tres lecturas obtenidas en el numeral 2.6.1. “Para el resultado final, considerar como mínimo tres lecturas tomadas en estado estable, es decir, cuando al menos estas tres lecturas consecutivas se sitúen dentro de un rango del 10 %, y no formen una secuencia decreciente”.

2.8 Instrumentos de medición

2.8.1 Dinamómetro de chasis

Los dinamómetros son equipos de medición de prueba que miden la potencia o el par producido por una máquina dividiéndose en varios tipos de motor o de chasis, el dinamómetro más útil es el de chasis por sus características.

En su investigación Avila, (2016), nos comenta:

Los dinamómetros de chasis ofrecen una medida más exacta del estado real del poder que se está transmitiendo por las ruedas en la velocidad, los resultados obtenidos serán representados de forma gráfica mediante curvas. Esta herramienta resulta particularmente útil pues permite observar y probar en su conjunto los elementos que integran al automóvil por lo que los resultados de las pruebas y ensayos obtenidos reflejan de forma más cercana al comportamiento que el vehículo tendrá en condiciones reales de operación.



Figura 9. Dinamómetro de chasis Dynomite

2.8.2 Analizador de opacidad

Manifiesta Pereira & Cordova, (2007) que:

El analizador de gases u opacímetro en el caso de motores diésel es un dispositivo que mediante su tecnología proporciona la medición de la emisión de residuos de la combustión de carburantes como la gasolina o el diésel, el cual permite al usuario múltiples opciones en las cuales se reflejara datos que proporcionan información sobre los gases de escape de los motores.

Los importadores y distribuidores de opacímetros deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los opacímetros a ser utilizados debe cumplir con la

Norma ISO 11614. Y para la medición de la opacidad, que es el grado de oscurecimiento que tiene el gas de escape, la norma que se toma a referencia es la RTE INEN 2202.



Figura 10. Opacímetro Cartek

2.9 Métodos dinámicos en estado transitorio

Mediante la investigación Recalde, (2015), afirma:

Las pruebas dinámicas en estado transitorio son aquellas en la cual se sigue un ciclo de conducción donde se aplican cargas y velocidades variables en todo momento de esta manera simular la carga instantánea de la carretera y la potencia necesaria para acelerar la masa inercial de cada vehículo.

Hay diferentes ciclos de conducción que se relacionan con la FTP, entre estos tenemos Europeos y Americanos, que han sido acogidos por otros países.

Americanos: FTP-75, NYCC, CDH 226, IM240

Europeos: ECE-15+EDUC, CADC

2.9.1 Prueba ECE-15 + EDUC

El procedimiento ECE es un ciclo de conducción de tipo urbano que simula el tráfico de París o Roma con aceleraciones parcialmente suaves, donde incluye cargas y velocidades bajas al no exceder una velocidad de 50 Km/h.

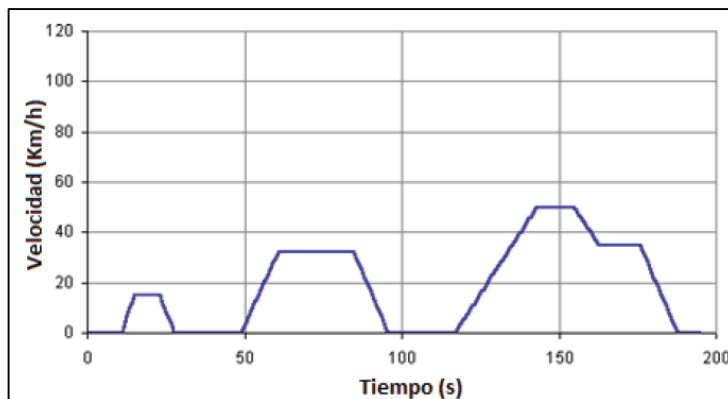


Figura 11. Ciclo de prueba ECE-15

Fuente: (Recalde, 2015)

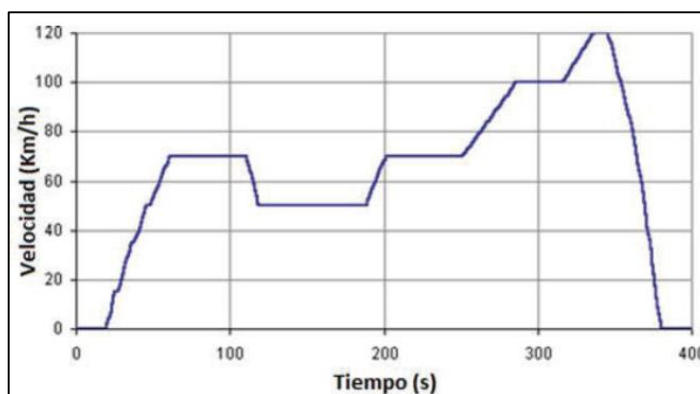


Figura 12. Ciclo de prueba EUDC

Fuente: (Recalde, 2015)

El segmento EUDC (Extra Urban Driving Cycle) aumentado para elevar la agresividad a un modo de velocidad de 120 Km/h. La prueba completa ECE-15 + EUDC está conformada por cinco etapas distribuida cuatro veces para ECE-15 y una para EUDC. Prueba Europea que es equivalente a la FTP-75 de Estados Unidos y utilizada para la certificación y homologación de vehículos livianos. La diferencia entre estas pruebas es el ciclo de manejo la cual representa las condiciones de las carreteras y autopistas europeas.

Tabla 7

Parámetros seleccionados para las pruebas ECE+15 y EUDC

Características	Unidad	ECE-15	EUDC
Distancia	Km	0.9941	6.9549
Tiempo total	s	195	400

CONTINÚA



Ralenti	s	57	39
Velocidad promedio(incl. paradas)	Km/h	18.35	62.59
Velocidad promedio de manejo (excl. paradas)	Km/h	25.93	69.36
Máxima velocidad	Km/h	50	120
Aceleraciones promedio	m/s ²	0.599	0.354
Máxima aceleración	m/s ²	1.042	0.833

Fuente: (Recalde, 2015)

2.9.2 Prueba FTP-75

Este ciclo fue elaborado para describir una ruta de tipo urbana es empleada en Estados Unidos para realizar la certificación de vehículos livianos porque representa el manejo tanto en ciudad y carretera.

Parámetros básicos principales para el ciclo son:

- Distancia recorrida: 17.77 Km
- Duración: 41 minutos con 15 segundos
- Velocidad promedio: 34.1 Km/h
- Velocidad máxima: 91.2 Km/h

Para la certificación de vehículos del año 2000 en adelante es obligatorio añadir dos pruebas complementarias SFTP (Supplemental Federal Test Procedure) para incluir las emisiones producidas.

- SFTP-US06: Prueba en altas velocidades bajo aceleraciones violentas
- SFTP-SC03: Prueba bajo el uso del aire acondicionado

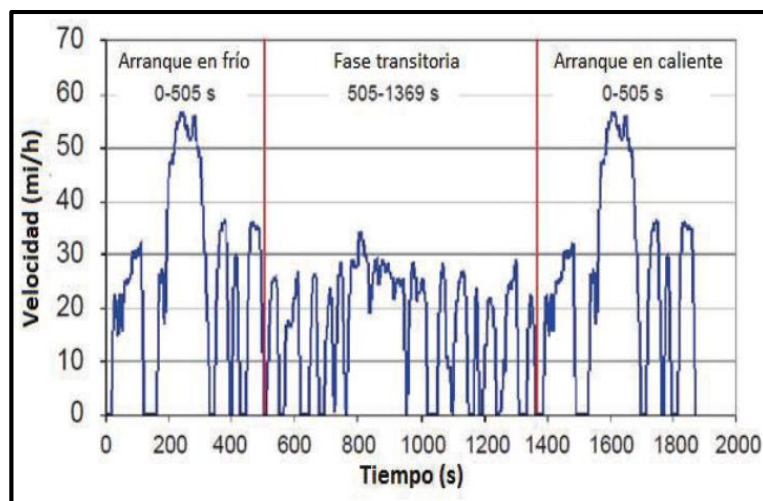


Figura 13. Ciclo de prueba FTP-75

Fuente: (Recalde, 2015)

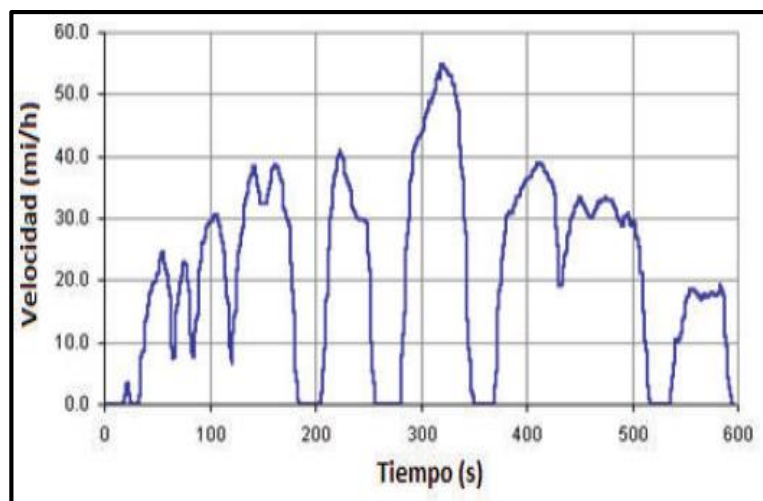


Figura 14. Ciclo de prueba SFTP-SC03

Fuente: (Recalde, 2015)

SFTP-SC03 esta evidencia las condiciones de manejo con el sistema de aire acondicionado del auto encendido, sus parámetros básicos son:

Tabla 8.

Parámetros seleccionados para las pruebas SFTP-SC03

Distancia	5,8 Km
Velocidad máxima	88,2 Km/h
Tiempo	596 segundos
Temperatura ambiente	35°C

2.9.3 Prueba New York City

La prueba denominada NYCC (New York City Cycle) simula el ciclo de conducción urbana con velocidades bajas y frecuentes paradas.

Parámetros básicos principales para el ciclo son:

- Distancia recorrida: 1.89 Km
- Duración: 598 segundos
- Velocidad promedio: 11.4 Km/h
- Velocidad máxima: 44.6 Km/h

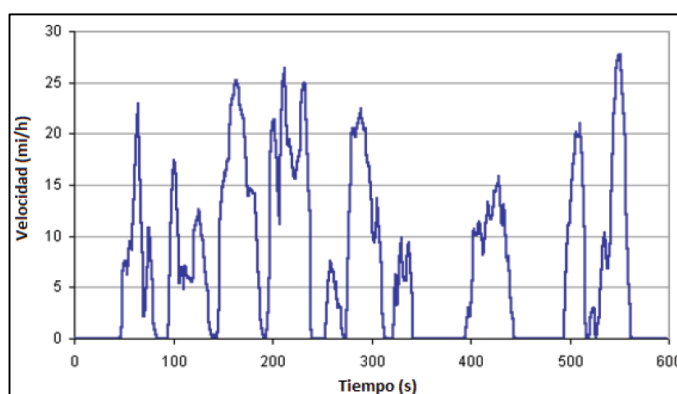


Figura 15. Ciclo de prueba NYCC

Fuente: (Recalde, 2015)

Conclusiones del capítulo

- Se investigó información referente como libros, artículos científicos, páginas web certificadas y confiables, bases digitales, normas técnicas entre otros, que sustentó acerca del uso del hidrógeno como combustible para mejorar el desempeño de un motor de combustión interna diésel.
- Se adjuntó ecuaciones para el cálculo del caudal de hidrógeno y corriente a ser utilizada para el proceso de electrólisis.
- Se señaló los diferentes protocolos a ser utilizados en el consumo de combustible caracterizando cada uno de ellos.

CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta el procedimiento de selección del generador de hidrógeno a las condiciones de funcionamiento planteadas, además del proceso de implementación de dicho generador en la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI con las seguridades necesarias y la descripción del mantenimiento para un funcionamiento óptimo.

3. REQUERIMIENTOS E IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO

3.1 Requerimientos del generador de hidrógeno

3.1.1 Requerimientos iniciales

Los requerimientos necesarios del generador de hidrógeno para satisfacer las necesidades de la investigación se detallan en la tabla 9.

Tabla 9

Requerimientos del generador de hidrógeno para la investigación

Requerimiento	Cantidad necesaria
Caudal (litros/min)	$Q \approx 4$
Amperaje (Amperios)	$17 = a \leq 20$
Voltaje (Voltaje)	$12 = V \leq 14$
Número de placas de acero inoxidable 36L	8
	Placas ánodo-cátodo
	Placas neutras
Dimensiones de las placas	Ancho= 10,5 cm
	Largo= 11,5 cm
	Espesor = 0,1 cm
	Ancho - largo= 11cm
	Espesor= 0,1 cm
Electrolito K(OH)	---



Figura 16 Estructura de las placas electrolíticas

3.1.2 Selección del generador de hidrógeno

Se seleccionó el generador de hidrógeno HE4-3500 cuyas características técnicas se presentan a continuación y mediante un método matemático y experimental se afirma su utilidad para cubrir la necesidad de la investigación.

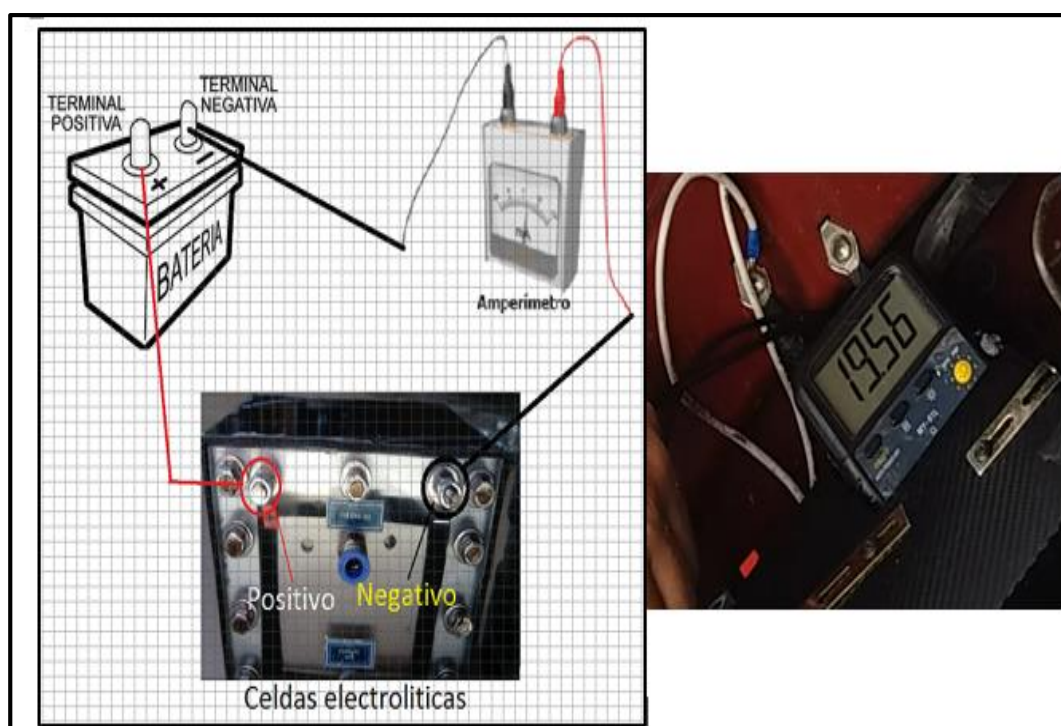


Figura 17. Medición de amperaje consumido total

El amperaje consumido por el generador al cabo de un minuto de hidrógeno es de 19,56 amperios.

3.1.3 Cálculo de la masa producida de hidrógeno

Para el cálculo de la masa de la sustancia producida en el electrodo se la efectúa mediante la ley de Faraday (masa obtenida en una placa de acero inoxidable)

$$m = \frac{I * t * M}{F * n}$$

$$m = \frac{19,56 \text{ A} * 60 \text{ s} * 1,00794 \text{ g/mol}}{96500 \text{ C mol}^{-1} * 1}$$

$$m = 0,012258 \text{ g}$$

La tabla descrita a continuación nos detallara los parámetros para efectuar los cálculos mediante la ley de Faraday y las unidades que se deben emplear.

Tabla 10.

Descripción de los parámetros de la ley de Faraday

Letra	Significado	Unidad
“m”	Es la masa de la sustancia en el electrodo	Gramos
“I”	Amperaje consumido por el generador de hidrógeno	Amperios (A)
“n”	Número de valencia de la sustancia como ion en la solución	Electrones por ion
“t”	Tiempo transcurrido	60 segundos (s)
“M”	Masa molar de la sustancia	Gramos por mol (g/mol)
“F”	Constante de Faraday	C*mol-1

3.1.4 Cálculo del caudal de hidrógeno

Con la ayuda de la ley de Faraday y la ecuación 16 se calculó el caudal del hidrógeno.

$$Q_{H_2} = \frac{m * np}{DH * t}$$

$$Q_{H_2} = \frac{0,012258 \text{ g} * 31}{0,0000838 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1 \text{ min}}$$

$$Q_{H_2} = 4534,664 \frac{cm^3}{min} * \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$Q_{H_2} = 4,535 \text{ lt/min}$$

Se muestran en la tabla 11 los parámetros para el cálculo del hidrógeno a obtener en las distintas etapas de generación, con las respectivas unidades de cada parámetro.

Tabla 11

Descripción de los parámetros del cálculo del caudal de hidrógeno

Letra	Significado	Unidad
“m”	Es la masa de la sustancia en el electrodo	Gramos
“np”	Número de placas	--
“DH”	Densidad del hidrógeno 0,0000838	g/cm3
“t”	Tiempo transcurrido	60 segundos (s)
“QH2”	Caudal producido de hidrógeno	lt/min

Cálculo del caudal de hidrógeno en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total de funcionamiento del generador de hidrógeno.

Tabla 12

Descripción de caudales calculados

Detalle	Caudal calculado de hidrógeno	Caudal aproximado de hidrógeno
Amperaje consumido total “100%” del generador de hidrógeno	4,54 lt/min	4 lt/min
Amperaje al 75% del generador de hidrógeno	3,4 lt/min	3 lt/min
Amperaje al 50% del generador de hidrógeno	2,3 lt/min	2 lt/min
Amperaje al 25% del generador de hidrógeno	1,1 lt/min	1 lt/min

En la tabla 13 se detallará los valores de amperaje para los distintos porcentajes de generación.

Tabla 13
Descripción de amperajes calculados

Detalle	Amperaje obtenido	Amperaje aproximado
Caudal producido del generador de hidrógeno "100%"	19,56 Amperios	20 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno "75%"	14,67 Amperios	15 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno "50%"	9,78 Amperios	10 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno "25%"	4,89 Amperios	5 Amperios

3.1.5 Cálculo de la conductividad del electrolito

Con ayuda de las medidas originadas de las placas utilizadas en el generador de hidrógeno se calcula la conductividad del electrolito con la ecuación 17.

$$At = \text{Área de placas ánodo - cátodo} + \text{Área de placas neutras}$$

$$At = ((10 \text{ cm} * 11,5 \text{ cm}) * 8 + (11 \text{ cm} * 11 \text{ cm})) * 23$$

$$At = 3703 \text{ cm}^2$$

$$C = \frac{Ie * e}{V * At}$$

$$C = \frac{9A * 0,1 \text{ cm}}{7,7 V * 3703 \text{ cm}^2}$$

$$C = 3,156 * 10^{-5} \text{ Siemens/cm}$$

La tabla a continuación nos presenta los parámetros a considerar para el cálculo de la conductividad del electrolito.

Tabla 14
Descripción de los parámetros del cálculo de la conductividad del electrolito

Letra	Significado	Unidad
"C"	Conductividad del electrolito	Siemens/cm

“e”	Espesor de placas	cm
“V”	Voltaje suministrado	Voltios
“At”	Área total de las placas	cm ²
“Ie”	Intensidad consumida por el electrolito	Amperios

Fuente: (Duque & Masaquiza, 2013)

3.2 Implementación del kit de hidrógeno.

3.2.1 Seguridad en la implementación

Para la seguridad de la implementación se debe seguir algunos procedimientos así como algunas recomendaciones para no tener ningún contratiempo u accidente que se detallarán a continuación.

- Revisar cada uno de los elementos que conforman el generador de hidrógeno que no tengan ningún daño visual o avería, ya que el funcionamiento adecuado de estos elementos nos proporcionará la máxima generación de hidrógeno de nuestro equipo.
- Comprobar que todas las manguera, acoples y racores estén en buen estado y no tengan ninguna fuga que ocasionaría perdidas en el sistema.
- Inspeccionar el sistema eléctrico del generador de hidrógeno para que al realizar las conexiones no exista ningún inconveniente ya que cualquier tipo de cortocircuito por una mala instalación podría ser peligroso si entraría en contacto con el hidrógeno.

3.2.2 Instalación de componentes mecánicos

Para la instalación del generador de hidrógeno se debe inspeccionar el compartimento del motor y encontrar un lugar adecuado, en el caso de la camioneta Chevrolet D-Max el lugar más idóneo fue en la parte delantera del motor, en frente del intercooler entre la mascarilla frontal del vehículo como lo muestra la siguiente figura.



Figura 18 Lugar de instalación generador de hidrógeno

Para acceder al lugar de instalación del equipo se debe retirar la persiana frontal, la cual tiene cuatro seguros de plástico que deben ser retirados, además de un perno de sujeción por debajo del emblema, retirando estos seguros tenemos dos vinchas en los costados que con las manos se desbloquean y con esto se logra retirar la mascarilla.



Figura 19. Desmontaje mascarilla frontal

Retirado la persiana se accede al lugar de instalación y posteriormente se coloca el equipo generador de hidrógeno tomando como base el parante lateral o alma del guardachoque, y con la ayuda de amarras de plástico se asegura el generador a este lugar.



Figura 20. Ubicación generador de hidrógeno en la camioneta

Para el caso del depósito del generador de hidrógeno se debe tener en cuenta un lugar en el cual sea fácil la revisión y llenado de agua destilada con electrolito cuando lo necesite, en nuestro caso encima del generador es un lugar perfecto que nos proporciona facilidad de llenado y revisión del tanque.



Figura 21. Lugar de instalación depósito del generador de hidrógeno

Para iniciar las conexiones de las mangueras que conectaran el depósito al generador de hidrógeno se deberán distinguir los diferentes acoples que están distribuidos en los dos equipos.

Se conecta una manguera de plástico de 8mm de diámetro (este tipo de manguera se usará en toda a instalación) que conectará el racor inferior del generador denominado “Entrada H₂O” al racor inferior del depósito, es inconfundible porque es el único en la parte inferior de este.



Figura 22. Conexión manguera “H₂O” del depósito al generador de hidrógeno

La siguiente conexión se la realiza entre el racor denominado “Salida H₂” ubicado en la parte superior del generador y el racor denominado “Entrada H₂” ubicado en la parte superior izquierda del depósito, usando la misma manguera plástica dicha anteriormente.

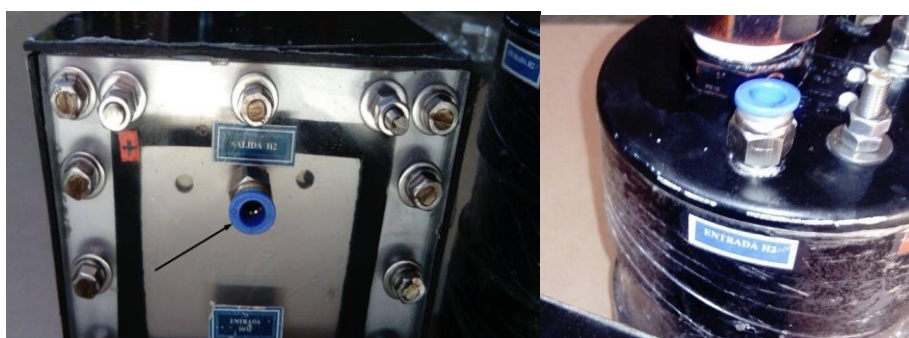


Figura 23. Conexión manguera “Salida H₂” del depósito al generador de hidrógeno

Como siguiente paso se conecta el racor denominado “Salida O₂” ubicado en la parte posterior del generador con el racor denominado “Entrada O₂” ubicada en la parte superior derecha del depósito.



Figura 24. Conexión manguera “Salida O2” del depósito al generador de hidrógeno

La ultima conexión se debe realizar del racor denominado “Al motor H2” al múltiple de admisión del motor para este paso es necesario acoplar un neplo que lo muestra la figura 25 para ser introducido en el múltiple de admisión con una perforación de 9.8mm, esta perforación se la realiza con la ayuda de un taladro y una broca de diámetro similar, mientras tanto en la parte de la manguera con ayuda de calor se inserta a presión, por la forma del neplo la manguera no se recorrerá y quedara sujeta perfectamente.



Figura 25. Conexión manguera “Al motor H2” del depósito al múltiple de admisión

La conexión del neplo se la debe realizar antes del turbo ya que si se realiza después de este la presión generada va a bloquear la entrada de hidrógeno, la ubicación se detalla en la siguiente figura.

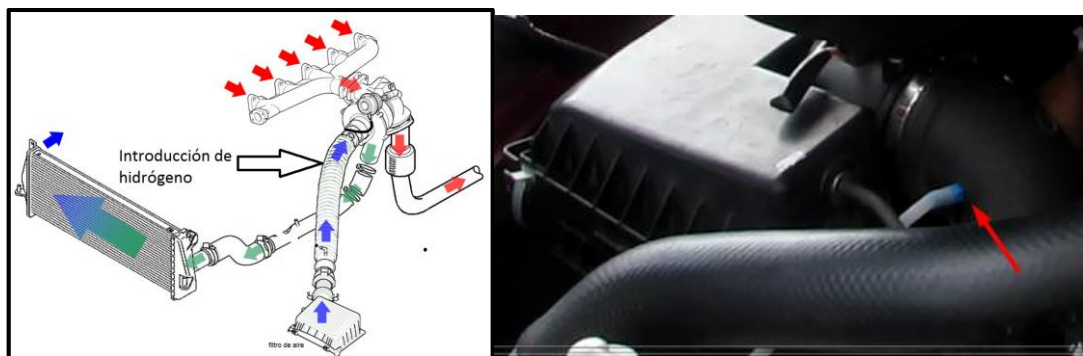


Figura 26. Lugar de acoplamiento del conducto de hidrógeno al motor

3.2.3 Conexión eléctrica

Para la realización de la parte eléctrica del generador de hidrógeno, se necesitan varias conexiones que se detallarán posteriormente; pero el corazón del sistema es el módulo de control el cual proporcionará distinto amperaje para poder obtener los distintos porcentajes de producción de hidrógeno.



Figura 27. Módulo de control

El módulo de control está formado por un circuito PWM HHO RC - 10000137 el cual consta de dos cables que sirven para la entrada de voltaje directo de la batería positivo (+) y negativo (-). Para la conexión del positivo un cable conectado directo a la batería (Borne positivo) pasa por un fusible de

seguridad de 25 A ya que el sistema produce un máximo de 20 A en su máxima capacidad y un interruptor de 30 A que permitirá el encendido y el apagado del circuito y posteriormente se conecta al cable rojo del circuito PWM.

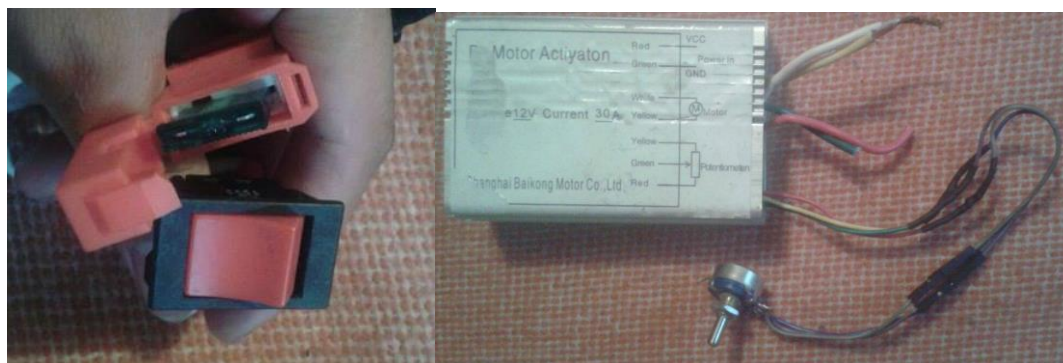


Figura 28. Fusible, interruptor, y circuito PWM HHO RC -10000137

Mientras tanto el cable verde se deberá conectar al negativo de la batería, eso en cuanto a la alimentación del circuito.

Para la salida regulada de corriente conectaremos el cable blanco del PWM al borne positivo del generador de hidrógeno ubicado en su parte delantera como lo muestra la siguiente imagen.



Figura 29. Borne positivo del generador de hidrógeno

De igual forma se conectará el cable amarillo al borne negativo del generador de hidrógeno ubicado en su parte delantera pero en el camino de este cable debemos cortar el circuito para la conexión en serie del

amperímetro esto ya que es necesario un control exacto de la corriente que circula por el sistema.



Figura 30. Borne negativo del generador de hidrógeno

Al lograr todas las conexiones mencionadas anteriormente se entienden unos cables del positivo y del negativo de los bornes del generador y se los conecta en paralelo con los bornes del depósito, para habilitar el medidor de electrolito además del indicador de encendido.



Figura 31. Bornes positivo y negativo del depósito del generador de hidrógeno

Al módulo de control se suma un ventilador para el enfriamiento del sistema conectado al positivo y negativo de la entrada del PWM y un voltímetro (Cable

blanco) conectado al cable blanco en la salida al PWM y alimentado por una batería de 9V (Cable rojo negro) con su respectivo interruptor.

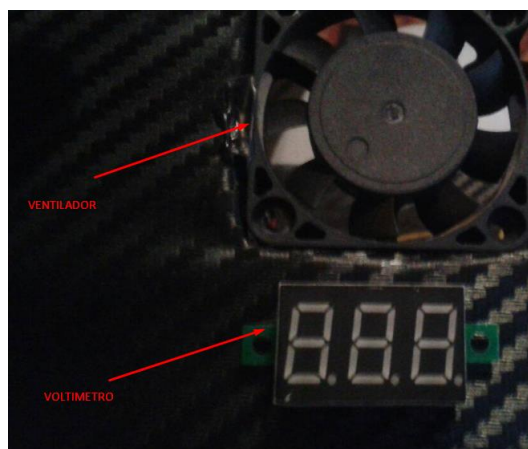


Figura 32. Ventilador y voltímetro del módulo de control

Con eso se culmina la conexión del sistema así como todos los elementos de medición y seguridad que lo conforman a continuación se verificará el circuito en su totalidad

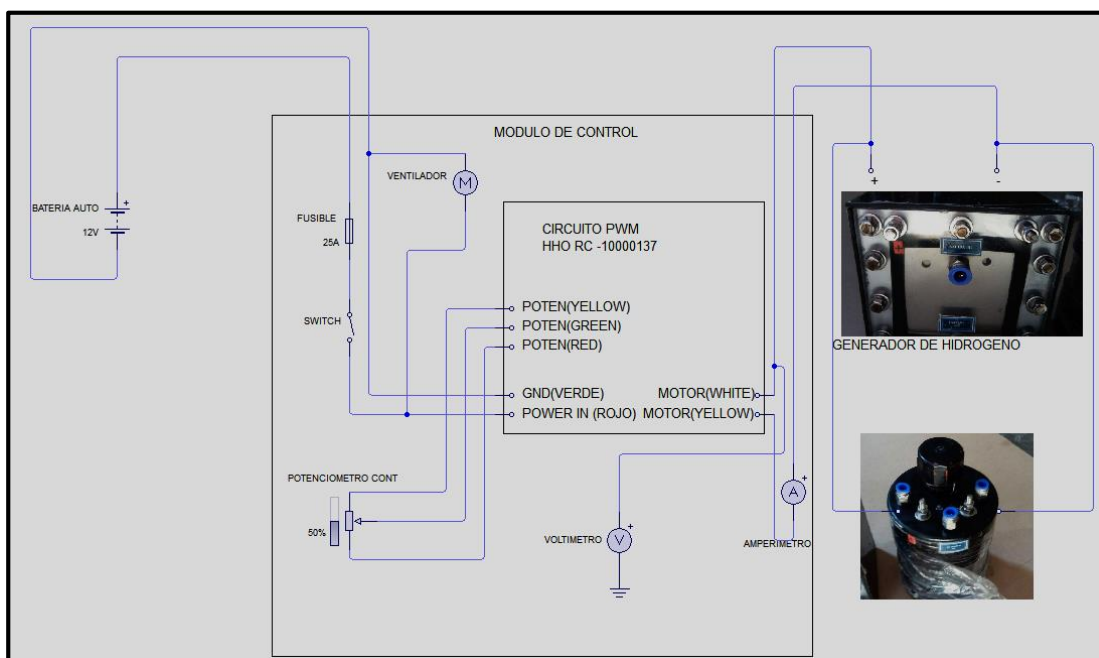


Figura 33. Circuito del módulo de control

Para asegurar el módulo de control al vehículo, se identifica un lugar apropiado en el compartimiento del motor del vehículo en el caso de la camioneta Chevrolet D-Max hay un espacio en la parte izquierda del motor junto a la torre de amortiguación como lo muestra la figura 34 se aseguran con pernos M10 y unas platinas fabricadas a medida en la carrocería y en la parte del módulo de control se fijan con tornillos colepatos.

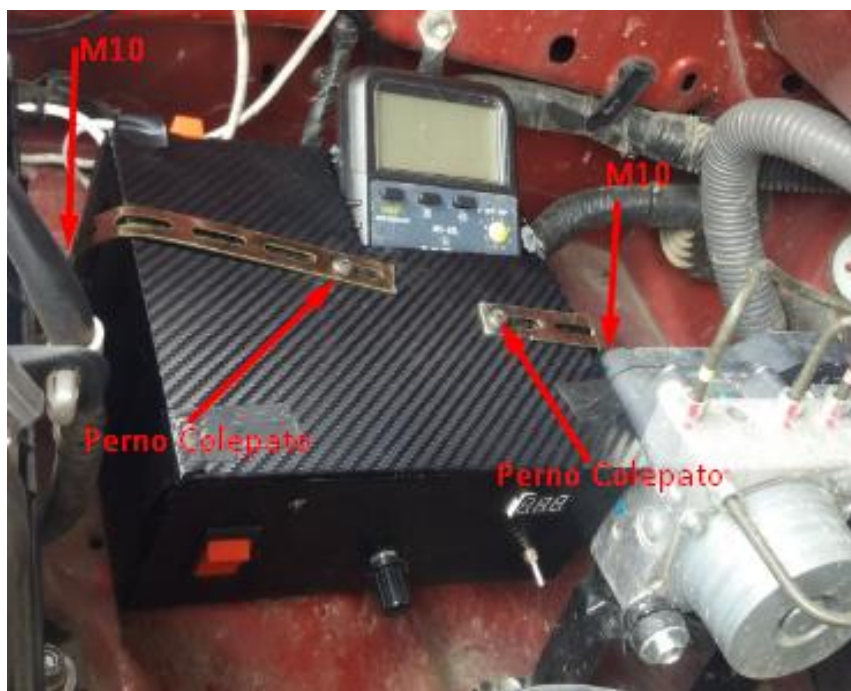


Figura 34. Sujeción del módulo de control

3.2.4 Preparación del electrolito

Para la preparación del electrolito es necesario la adición de hidróxido de potasio en agua destilada; la preparación es simple por cada litro de agua destilada se adicionará 20 gramos del hidróxido de potasio, se mezcla hasta que se homogenice. Ya lista la preparación con la ayuda de un embudo se adiciona en el depósito hasta obtener un porcentaje del 75% lleno de su máximo con eso el sistema puede funcionar correctamente, el electrolito automáticamente pasa al generador donde están las placas que efectuarán la electrólisis.



Figura 35. Agua destilada e hidróxido de potasio

3.2.4 Comprobación del sistema

Para tener un correcto funcionamiento del sistema debemos considerar varios aspectos que se detallarán a continuación:

- El motor y sus sistemas deben estar en correcto funcionamiento para que no exista ninguna pérdida de potencia.
- El motor del vehículo debe estar en temperatura de funcionamiento habitual para obtener los mejores resultados en todas las pruebas mecánicas y térmicas que se realizarán en la investigación.



Figura 36. Temperatura de funcionamiento Chevrolet D-Max

- Encender el generador de hidrógeno siempre que el motor este encendido ya que el consumo de corriente es alto y podría agotar la batería.

- Al encender el generador de hidrógeno su producción es inmediata, se notará en las ventanillas de este unas burbujas que demostrará su funcionamiento.

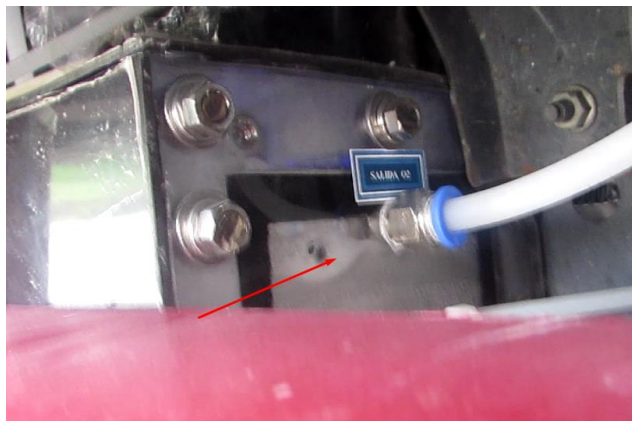


Figura 37. Generación de hidrógeno en ventanilla del dispositivo

- Para comprobar la generación de hidrógeno se realiza una prueba simple que consiste en desconectar la manguera que comunica el hidrógeno al múltiple de admisión y se sumerge en un frasco con agua, se encenderá el generador e inmediatamente se verifica que genera burbujas que son de hidrógeno; si a estas burbujas se acerca algún tipo de llama como un encendedor o un cerillo estos explotarán demostrando su alta inflamabilidad y simulando lo que sucede en el motor de combustión interna.



Figura 38 Comprobación de la generación de hidrógeno

3.2.5 Mantenimiento del sistema.

- Para la realización de cualquier tipo de mantenimiento tanto el motor como el generador de hidrógeno deben estar apagados para evitar accidentes.
- El llenado de electrolito se lo debe hacer antes de cada día en la realización de las pruebas, la medida ideal es el 75% de la capacidad total del depósito, se lo realiza con la ayuda de un embudo por la ubicación del depósito, vale recalcar que el llenado debe hacerse con el motor y el generador totalmente apagados.



Figura 39. Llenado de electrolito en el depósito del generador de hidrógeno

- Al realizar el mantenimiento externo del generador de hidrógeno como mangueras u otro elemento que intervenga directamente en la producción de hidrógeno, se debe retirar en su totalidad el electrolito del sistema y posteriormente realizar el cambio o el arreglo.
- En el mantenimiento de las conexiones eléctricas es necesario apagar el sistema de generación de hidrógeno así como el motor, ya que puede generarse algún corto circuito que dañaría los elementos electrónicos del módulo de control o del motor.
- Para la verificación de fugas de hidrógeno que pudiera tener el sistema se cubre las mangueras con una solución jabonosa, si las hubiera la solución empezará a burbujear revelando en ese lugar la escapatoria de hidrógeno.

- La limpieza de las placas del generador de hidrógeno, y del depósito se debe desconectar una de la otra, ya independientemente se debe colocar 500ml de agua de agua destilada aproximadamente, mover el dispositivo con el agua dentro para que las impurezas se despeguen y al desaguar salgan en conjunto con dicha agua destilada

Conclusiones del capítulo

- Con los requerimientos planteados se seleccionó el kit generador de hidrógeno denominado HE4-3500 que cumple las condiciones necesarias.
- Se plantea un procedimiento de instalación del generador de hidrógeno en la camioneta Chevrolet D-Max tanto las conexiones mecánicas como las eléctricas, planteando normas de seguridad en todo el proceso.
- Se determinó un proceso de mantenimiento para el generador de hidrógeno que servirá para el correcto funcionamiento y de esta forma mejorando su vida útil.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se detallará los procedimientos realizados en la investigación tanto para el análisis de rendimiento mecánico así como el térmico, además se analizarán y compararán los datos obtenidos con la adición de hidrógeno en el motor de la Chevrolet D Max a 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad del generador de hidrógeno implementado como final se realizan los cálculos de los parámetros característicos del motor en todas sus etapas.

4. ANALISIS DE PRUEBAS DE RENDIMIENTO, EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

4.1 Equipos y procedimientos de prueba

Con la implementación del generador de hidrógeno en el vehículo se efectuaron las pruebas de rendimiento (torque y potencia), emisiones de gases contaminantes (opacímetro, analizador de gases) y consumo de combustible a los diferentes porcentajes de carga del generador.



Figura 40. Generador de hidrógeno implementado en el vehículo

4.1.1 Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full

Para la realización de las pruebas se usó la camioneta particular Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full que presenta la siguiente ficha técnica.

Tabla 15

Ficha técnica de la camioneta Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full

Ficha técnica del Chevrolet D-Max 3.0L CD 4x4 Full

**Motor**

Datos	Especificaciones
Combustible	diésel
Cilindrada	2999
Potencia	134/3600 hp/rpm SAE
Torque	294/1400-3000 N-m/rpm SAE
Alimentación	Inyección directa common rail turbo intercooler
Cilindros	4 en línea
Válvulas	16
Diámetro x Carrera (mm)	95.4 mm x 104.9 mm
Relación de compresión	18.3 : 1
Transmisión y chasis	
Motor - tracción	delantero - delantera
Transmisión	manual 5 velocidades
Neumáticos	245/75/R16
Frenos (del. - tras.)	discos ventilados - tambor
Medidas y capacidades	
Largo	5295 mm
Ancho sin espejos	1766 mm
Alto	1690 mm
Tanque de combustible	76 l
Peso	1905 kg
Capacidad de carga	1045 kg

4.1.2 Generación de hidrógeno

En la obtención de los distintos porcentajes de generación de hidrógeno se debe cambiar la corriente de entrada al equipo por medio del circuito PWM.

Se varía mediante el potenciómetro al valor necesario para cada prueba, tomando en cuenta que su corriente máxima es 20 A, a continuación se detallará el procedimiento para cada etapa de trabajo:

- En la primera etapa con el 25% de generación de hidrógeno del total se debe modificar la corriente a un valor aproximado de 5 A.



Figura 41. Amperaje 25% generación de hidrógeno

- En la segunda etapa con el 50% de generación de hidrógeno del total se debe modificar la corriente a un valor aproximado de 10 A.



Figura 42. Amperaje 50% generación de hidrógeno

- En la tercera etapa con el 75% de generación de hidrógeno del total se debe modificar la corriente a un valor aproximado de 15 A.



Figura 43. Amperaje 75% generación de hidrógeno

- En la última etapa en su máxima generación de hidrógeno el valor de amperaje debe estar en el máximo, aproximadamente 20 A.



Figura 44. Amperaje 100% generación de hidrógeno

Este procedimiento se lo realizará para todas las pruebas de torque y potencia, consumo de combustible y análisis de gases.

4.1.3 Dinamómetro dynomite 4400 2WD IO chassis dyno



Figura 45. Taller Dinamyca competición

Las pruebas de torque y potencia se realizaron en la ciudad de Quito sector el Labrador en el taller automotriz “Dinamyca competición” con un dinamómetro “Dynomite 4400 2WD IO Chassis Dyno”.



Figura 46. Dynomite 4400 2WD IO Chassis Dyno

A continuación se detalla una ficha técnica de las características del dinamómetro Dynomite.

Tabla 16.

Ficha técnica dinamómetro Dynomite 4400 2WD

Alimentación	120 voltios de 60 Hz, 240 voltios de 50 Hz, o 12 voltios DC
El transductor de par	1% de precisión a gran escala
Capacidad de potencia	1,650 Hp (1000 / 1,2" deforman * μ * 2WD)
Tacómetro	0 - de 32.000 RPM pantalla de cuarzo-cristal calibrado
Dyno velocímetro	15-225 MPH **
	Control automático de carga electrónica
Eje peso capacidades	10.000 lbs (por eje)
Dimensiones aproximadas y peso	89 "W x 54" L x 48 "H - 5.500 lbs
Software	DYNO-MAX - software de control inalámbrico

Fuente: (Dynomite, 2017)

Previo empezar las pruebas se realizó una inspección del vehículo en su totalidad.

- Verificar la inexistencia de fugas en el sistema de refrigeración.
- Comprobar el nivel de combustible y que no existan fugas en el sistema dicho.
- La presión óptima del sistema de lubricación (luz de aceite en el tablero).
- Revisar la presión adecuada de los neumáticos y ajuste de sus tuercas de sujeción.
- Constatar una temperatura de funcionamiento adecuada para el inicio de cada prueba
- Examinar que no exista ningún problema mecánico con el selector de marchas.

Terminada la revisión del vehículo se procede a:

- Estacionar el vehículo correctamente en los rodillos del dinamómetro.



Figura 47. Vehículo ubicado en los rodillos

- Sujetar el vehículo con fajas ancladas en los puntos estratégicos para garantizar el estado estático del mismo durante la prueba.



Figura 48. Anclaje del vehículo en puntos fijos

- Verificar que el vehículo se mantenga a una temperatura óptima de trabajo.
- Ejecutar el software Dyno Max para interactuar con la interfaz del programa.

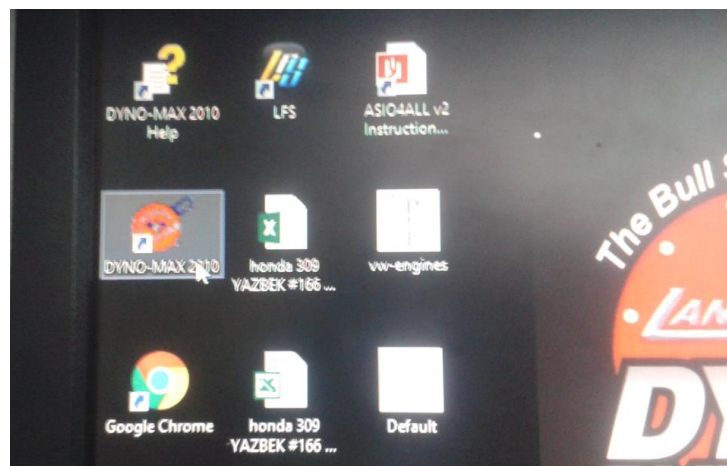


Figura 49. Icono del programa “DYNO MAX 2010”

- Conectar el medidor de revoluciones a la batería del vehículo para la comunicación con el software.

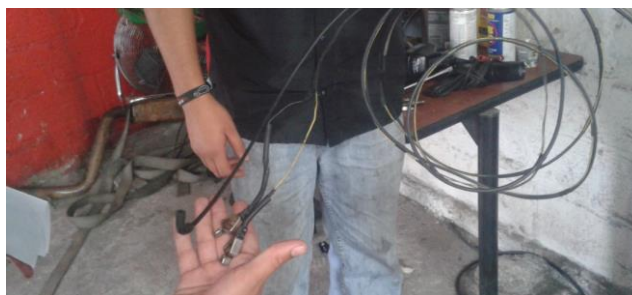


Figura 50. Medidor de revoluciones y de vacío

- Conectar la manguera de vacío a la admisión del vehículo



Figura 51. Conexión de la manguera de vacío al vehículo

- Mediante la interfaz del software ingresar los datos del vehículo, ambiente y datos predeterminados del dinamómetro.

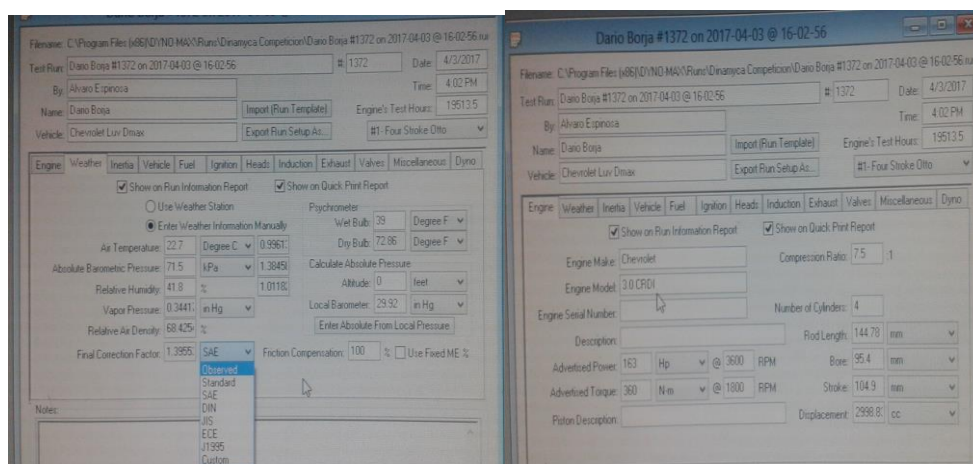


Figura 52. Ingreso de datos del vehículo en el software “DYNO MAX 2010”

- Dar inicio a la medición de torque y potencia poniendo el vehículo a trabajar desde la primera relación de transmisión hasta la cuarta.
- La medición empieza a registrarse (Record) cuando el vehículo alcanza las 1500 rpm manteniendo el acelerador progresivo.

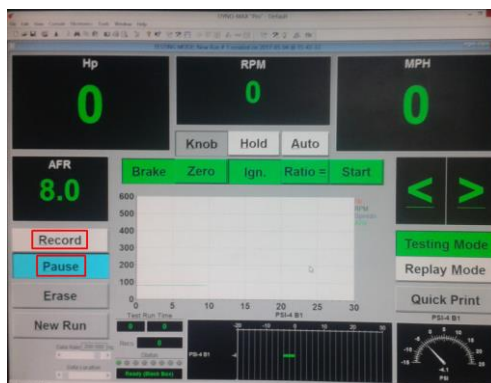


Figura 53. Pantalla de medición del software “DYNO MAX 2010”

- La medición se termina cuando el vehículo alcanza las 4000 rpm y el programa las registra (Pause).



Figura 54. Rango de revoluciones de prueba de dinamómetro

- Una vez terminada cada medición el software registra la curva de torque y potencia con su respectiva tabulación de datos.

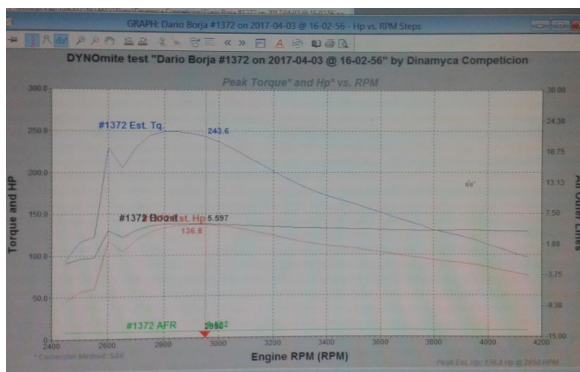


Figura 55. Curva de torque y potencia modelo

4.1.4 Analizador de gases - opacómetro Cartek

El equipo cartek es un analizador de gases y opacómetro, un equipo multiuso que en nuestro caso será encargado de la prueba de opacidad mediante un protocolo de test oficial, brindando un informe y una calificación de aprobado o reprobado

a) Características equipo opacidad Cartek

- Configuración básica de análisis de gases diésel
- Sistema operativo PC Windows XP
- Medidor de humo (Opacómetro)
- Pantalla plana 17"
- Alimentación 110 / 220 Volts-50 / 60 HZ



Figura 56. Analizador de gases - opacómetro CARTEK

b) Procedimiento de uso

- Se alimenta el equipo con la ayuda de un regulador de voltaje a la fuente de 110v.
- Encender el computador y conectar el equipo de medición al computador así como a la fuente de alimentación.
- Conectar los cables pertinentes del equipo de medición al borne positivo y negativo de la batería para el reconocimiento de las revoluciones del motor al opacímetro.
- En el computador ingresar al programa específico del equipo de medición y seleccionar la prueba de opacidad, con todos los elementos conectados correctamente nos permitirá empezar la prueba de opacidad.
- Como primer paso se deben verificar los valores actuales además ingresar el diámetro del tubo de escape en nuestro caso fue 51mm.

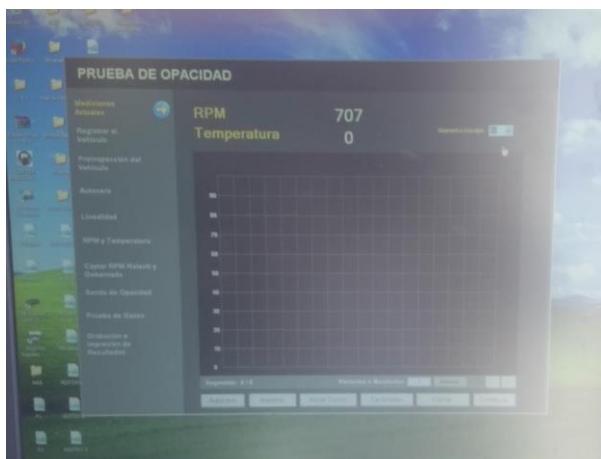


Figura 57. Pantalla inicial software opacímetro CARTEK

- Ingresar los datos del vehículo así también como de la persona encargada de la medición, estos datos se ingresarán una vez ya que se quedarán grabados, y en las siguientes pruebas solo se ingresa por el número de placa y los datos se establecerán automáticamente.

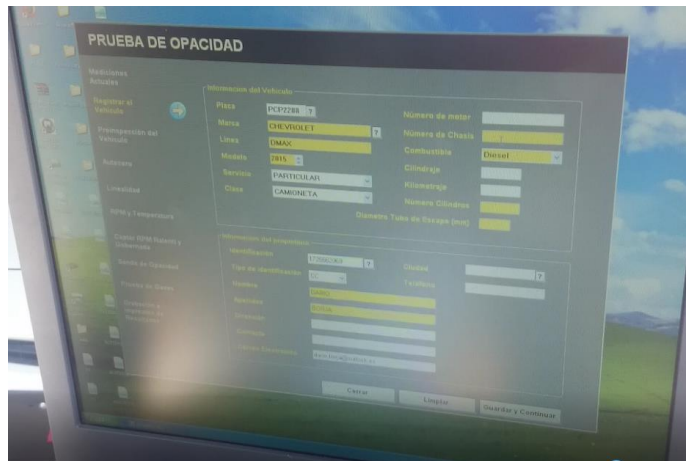


Figura 58. Pantalla ingreso de datos opacímetro CARTEK

- Ya grabados los datos pedirá verificar algunos aspectos previos del vehículo, ya realizado se selecciona el recuadro de verificado posteriormente guardar y continuar.
- Como siguiente paso el banco entra en la opción de autocero automáticamente, en este paso pedirá obstruir la luz del sensor óptico por 15 segundos inmediatamente se verificará las revoluciones en ralentí tanto como en el tacómetro y la pantalla del equipo de medición teniendo en cuenta que deben ser iguales por 5 segundos, posterior a estos nos solicitará acelerar a velocidad gobernada del motor por 5 segundos más.

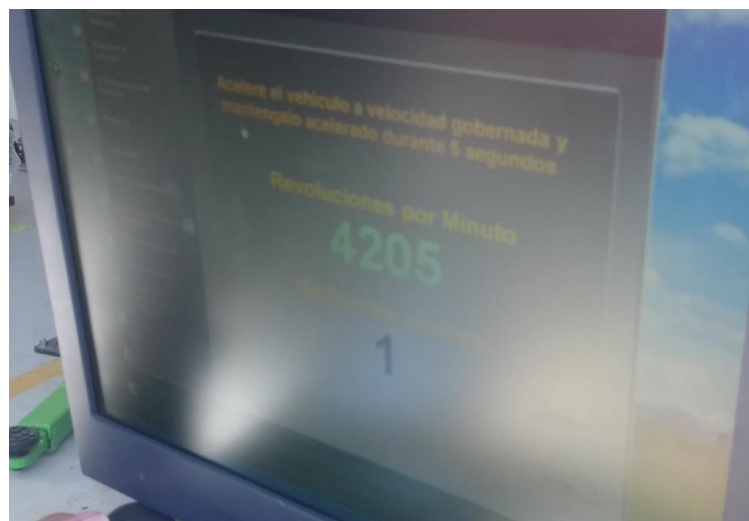


Figura 59. Pantalla calibración revoluciones opacímetro CARTEK

- Insertar la sonda en el tubo de escape y asegurarla.



Figura 60. Sonda en el tubo de escape opacímetro CARTEK

- Se da comienzo a la prueba que constará de 4 etapas, en cada etapa se mantendrá el motor a ralentí por 5 segundos y 4 segundos a velocidad gobernada culminado esto se estabilizará el motor durante 10 segundos; esto se repetirá por las 4 etapas.



Figura 61. Pantalla prueba opacímetro CARTEK

- Culminada las 4 etapas se emitirá una pantalla de culminación de la prueba se presiona el botón de prueba finalizada y se guardará el informe para la tabulación de datos.

ESPE LATACUNGA Tel: 0000000		Email:	
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969		DATOS DEL VEHICULO PLACA: POP2288 MODELO: 2015 MARCA: CHEVROLET LINEA: DIMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: SLBETF3NKF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00	
PRUEBA EN SAJO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.49 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 %	DISPOSITIVO DE MEDICION 8181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4260 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 °	NORMA OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:	
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA 4/4/2017 15:52:47		RESULTADO: APROBADA	
OPERARIO RESPONSABLE: _____		QUIROZ	

ESPE LATACUNGA Tel: 0000000		Email:	
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969		DATOS DEL VEHICULO PLACA: POP2288 MODELO: 2015 MARCA: CHEVROLET LINEA: DIMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: SLBETF3NKF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00	
PRUEBA EN SAJO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.49 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 %	DISPOSITIVO DE MEDICION 8181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4260 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 °	NORMA OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:	
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA 4/4/2017 15:52:47		RESULTADO: APROBADA	
OPERARIO RESPONSABLE: _____		QUIROZ	

Figura 62. Informe final opacímetro CARTEK

4.1.5 Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688

Analizador AGS-688 es un equipo moderno que mide los diferentes gases contenidos en el escape de los vehículos con motor de combustión interna como HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x que son expulsados al medio ambiente.

a) Características

- Conexión al PC por medio del puerto serial RS-232
- Sonda para RPM
- Ajuste desde 1 hasta 12 cilindros
- Capacidad de medir 4 y 2 tiempos (motocicletas)
- Aspiración gas de medición 4 l/min. (con conexión de 6m de sonda gas)
- Eliminación condensación automática y continua

- Prueba de estanqueidad semiautomática con cierre manual de la sonda de extracción
- Control automático del flujo mínimo
- Control automático sensor O₂ agotado (< 5mV)
- Filtros de protección cabezales agua/gas de la bomba posicionados en el exterior para evitar remover los sellos para abrir el aparato
- Compensación automática de la presión. Ambiente de 850 a 1060 KPa
- Reseteo automático
- Tiempo de respuesta CO, CO₂ y HC < 15 seg.



Figura 63. Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688

b) Procedimiento de uso

- Se conecta el equipo a la fuente de alimentación de 110v mediante un regulador de voltaje
- Se enciende el equipo y se conecta a la computadora por medio del puerto serial RS-232 y se accede al programa "BRAINBEE PIT1WIN"
- Se conecta el módulo de medición de RPM y temperatura del motor GPRPM-300 a los bornes positivo y negativo de la batería para su alimentación, además de insertar el medidor de temperatura en vez de la bayoneta de medición de aceite, previo a la inserción se debe verificar la longitud de la bayoneta con el medidor.



Figura 64. Módulo de medición GPRPM-300



Figura 65. Ubicación medidor de temperatura del módulo GPRPM-300

- Con la ventana visualizada en el computador se selecciona la opción prueba de gases de escape



Figura 66. Ventana del programa del AGS-688

- El programa estará en stan-by hasta que el equipo tenga su temperatura de funcionamiento y completada la prueba de estanqueidad en el cual nos pedirá obstruir la sonda y liberarla.



Figura 67. Prueba de estanqueidad del AGS-688

- Se selecciona prueba continua para el análisis de los gases de escape se debe tener en cuenta que las revoluciones así como la temperatura del motor deben coincidir las del medidor así como las medidas del tablero del vehículo y esos datos reflejarse en el monitor de la computadora.



Figura 68. Ventana selección de prueba del AGS-688

- Se ingresan los datos del vehículo además se verificará el número de cilindros (4) así como ciclo de trabajo (4 tiempos) y el combustible estén correctos con los del vehículo a realizarse la prueba.



Figura 69. Ventana valores de prueba del AGS-688

- Se mantiene por los menos por 15 segundos en el valor de revoluciones de cada prueba para imprimir el informe de valores de gases.

ANALIZADOR		AGS-688		CUENTARREVOLUCIONES		GPRM-300	
Número de serie	:	160513000054	Número de serie	:	101070014400		
ADDRESS		NAME		TELEPHONE			
ZIP - CITY				FAX - EMAIL			
Datos del vehículo:							
Marca	:	CHEVROLET	Modelo	:	D-MAX		
Matricula	:	PCP 2288	No. Chasis	:	8LBETF3NKF0306977		
Combustible	:	GASOLINA	Km recorridos	:	70000		
Valores relevados:							
Temp. Motor	[°C]	:	96				
RPM	[1/min]	:	3470				
CO ₂ cor	[%Vol]	:	0.25				
Lambda	[-]	:	4.815				
CO	[%Vol]	:	0.06				
CO ₂	[%Vol]	:	3.0				
HC	[ppmVol]	:	1				
O ₂	[%Vol]	:	16.5				
NO	[ppmVol]	:	286				
Fecha y hora prueba	:	05/04/2017	12:09				
Sello							
Firma							

Figura 70. Informe final de la prueba del AGS-688

- Después de cada prueba se revisa el estado del filtro, ya que es muy propenso a ensuciarse por la medición en motores diésel, con este combustible es más propenso a dañarse.



Figura 71. Filtros del AGS-688

4.1.6 PRUEBAS CONSUMO DE COMBUSTIBLE

a) Procedimiento

Las pruebas de consumo de combustible las realizaremos en tres distintos protocolos los cuales son:

- Prueba New York City Cycle
- Prueba ECE 15 + EUDC
- Prueba FTP-75 + SFTP-SC03

Procedimiento de medición valores de las pruebas

- Los tres protocolos tienen sus condiciones y rutas que las controlaremos mediante la interfaz OBDLink SX EOBD y el programa de computadora OBDWIZ.



Figura 72. OBDLink SX

- Se conecta el dispositivo al conector OBD II del vehículo y al puerto USB de la computadora posteriormente se arranca el programa



Figura 73. Conexión del OBDLink SX al vehículo

- Se vincula la interfaz con el programa y se traslada a la pestaña tablero, en la cual estarán todos los valores del motor como velocidad, revoluciones y consumo de combustible.



Figura 74. Manejo del OBDLink SX mediante computadora portátil

- En cada prueba se debe reajustar los valores y estos se van a 0 se controla la distancia y velocidad de cada prueba en la pantalla y se tabulan los datos emitidos.

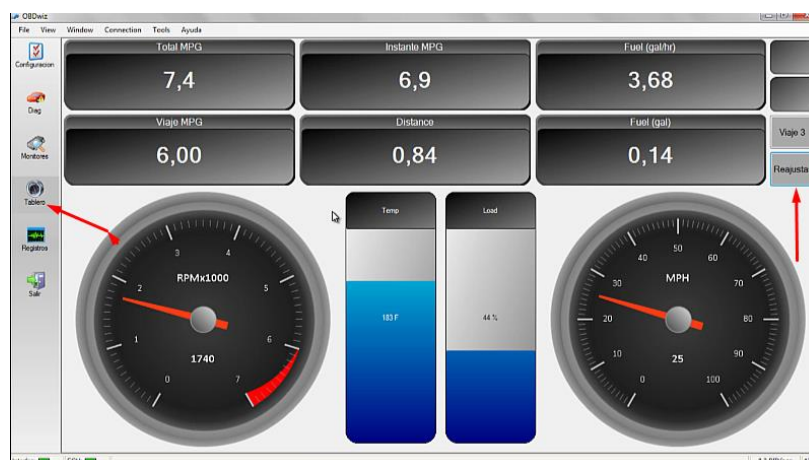


Figura 75. Pantalla de la interfaz de consumo de combustible OBDWIZ

b) Prueba New York City Cycle

La prueba NYCC simula el ciclo de conducción urbana con velocidades bajas y frecuentes paradas, por tal motivo se escoge una ruta urbana que contenga tráfico y se pueda circular a bajas velocidades con aceleradas y frenadas repentinas. El lugar seleccionado fue en la ciudad de quito en el sector norte como detalla la siguiente figura.

Parámetros principales para el ciclo son:

- Distancia recorrida: 1.89 Km – 1.18millas
- Velocidad máxima: 44.6 Km/h – 27.7millas/h

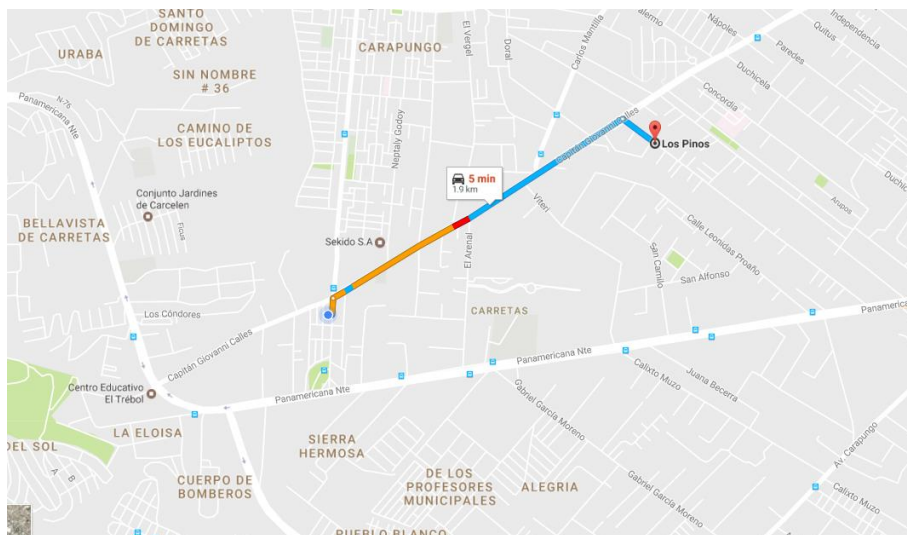


Figura 76. Ruta designada para todas las pruebas NYCC

c) Prueba ECE 15 + EUDC

En la selección del lugar del protocolo se tiene varios aspectos, cuatro etapas de ECE que deben ser urbanas y la prueba EUDC que debe ser en autopista o carretera el lugar fue seleccionado al norte de la ciudad de Quito, al finalizar cada etapa continua la siguiente, las condiciones y rutas de las etapas se detallan a continuación.

Parámetros principales para el ciclo ECE son:

- Distancia recorrida: 0.99 Km – 0.62millas
- Velocidad máxima: 50 Km/h – 31.07millas/h

Parámetros principales para el ciclo EUDC son:

- Distancia recorrida: 6.95 Km – 4.32millas
- Velocidad máxima: 120 Km/h – 74.56millas/h

ECE primera etapa

Primera ruta en sector urbano con aceleraciones y paradas repentinas simulando el tráfico.

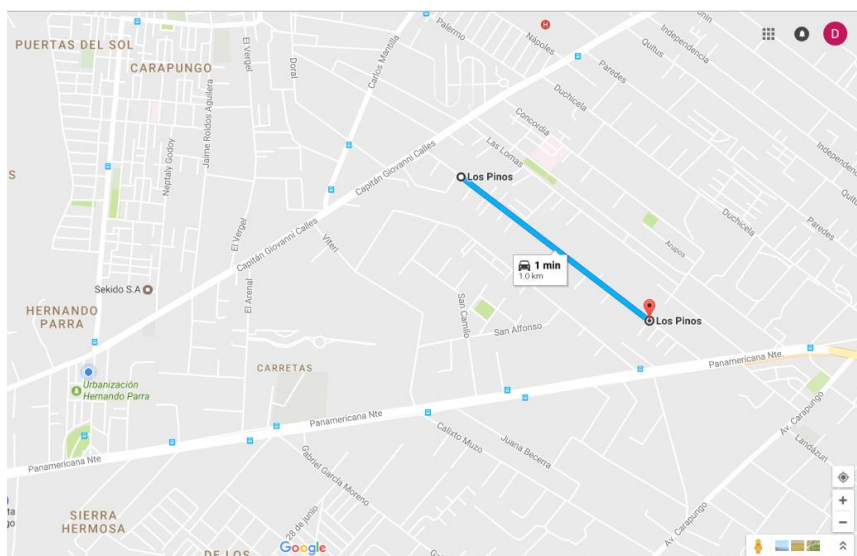


Figura 77. Ruta designada para la primera etapa de la prueba ECE-15

ECE segunda etapa

Segunda ruta en sector urbano con aceleraciones y paradas repentinas simulando el tráfico de la ciudad.

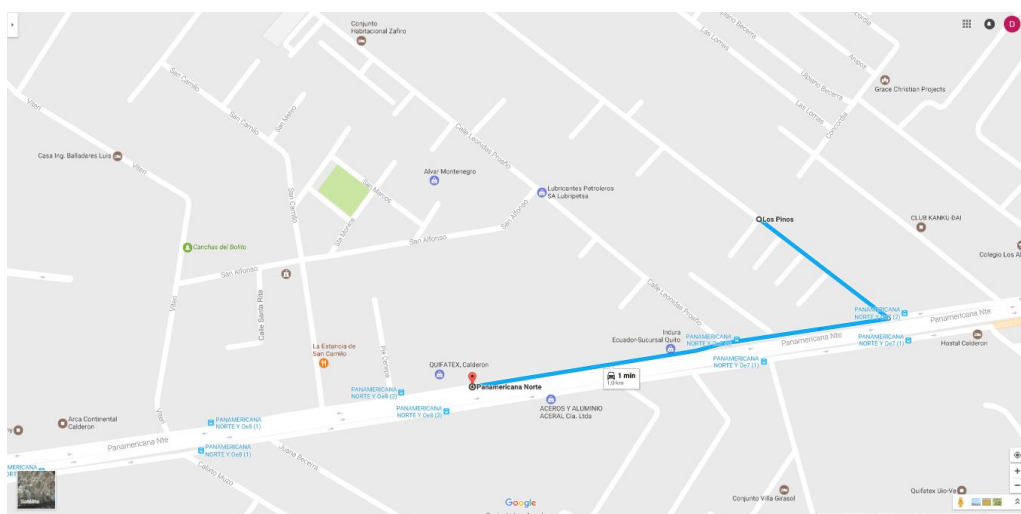


Figura 78. Ruta designada para la segunda etapa de la prueba ECE-15

ECE tercera etapa

Tercera ruta en sector urbano con aceleraciones y paradas repentinas simulando el tráfico de la ciudad.

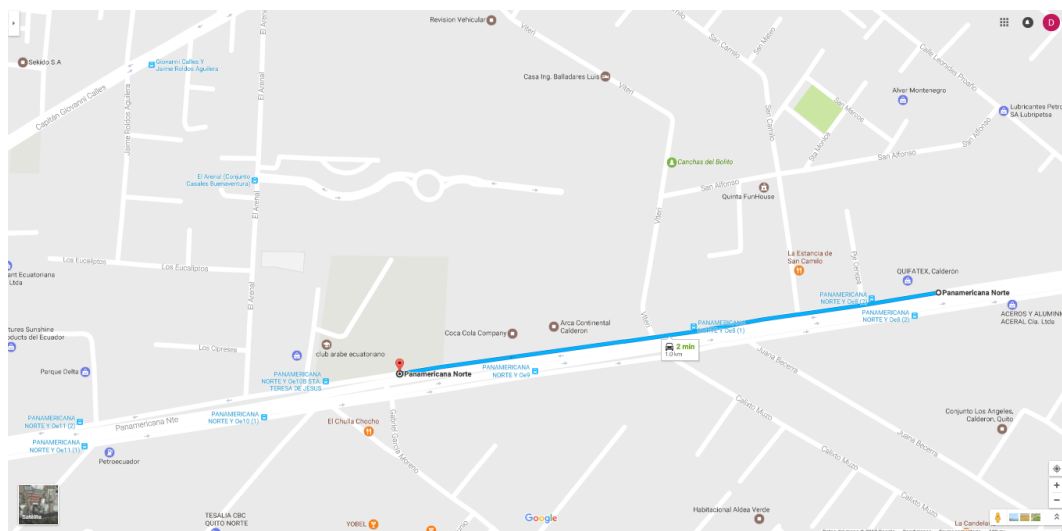


Figura 79. Ruta designada para la tercera etapa de la prueba ECE-15

ECE cuarta etapa

Cuarta ruta en sector urbano con aceleraciones y paradas repentinas simulando el tráfico de la ciudad.

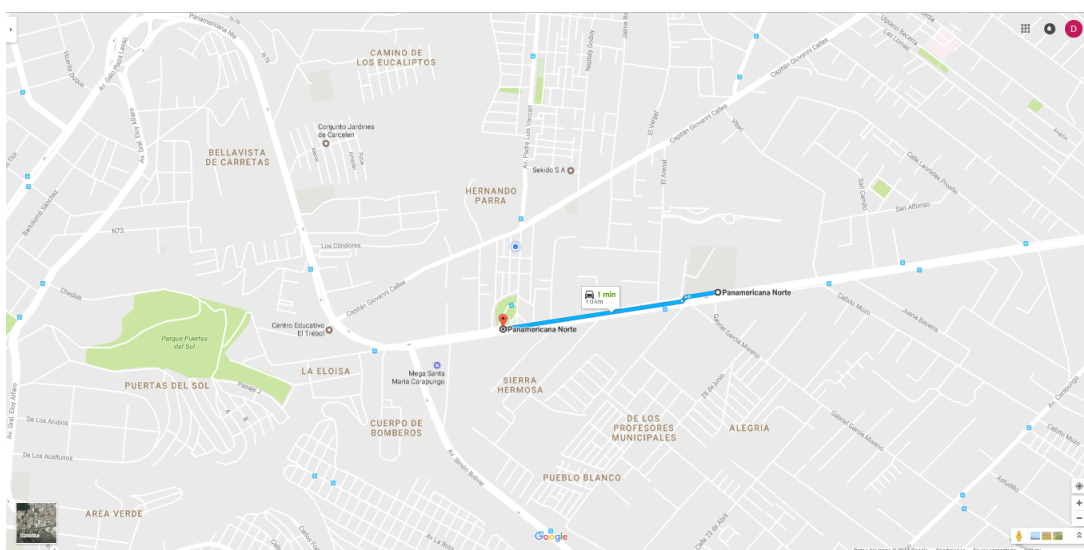


Figura 80. Ruta designada para la cuarta etapa de la prueba ECE-15

EUDC quinta etapa

Ruta de carretera que circula a altas velocidades sin detenciones repentinas ni aceleraciones brutas.

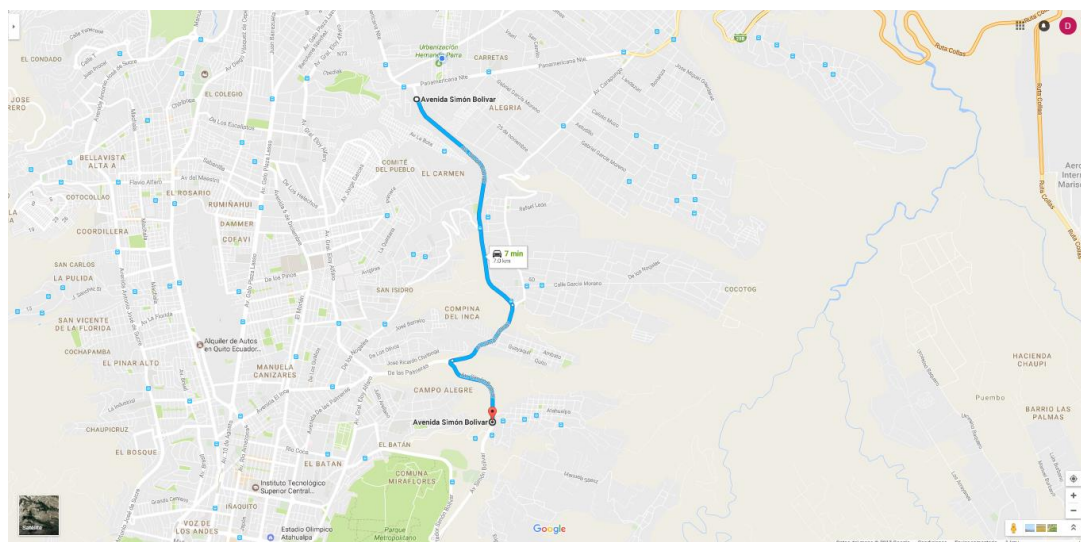


Figura 81. Ruta designada para la prueba EUDC

d) Prueba FTP-75

El protocolo debe realizarse en una carretera o autopista para alcanzar altas velocidades el lugar seleccionado fue en la ciudad de Quito en la vía perimetral Simón Bolívar como se detalla en la imagen 82.

Parámetros principales para el ciclo FTP-75 son:

- Distancia recorrida: 17.77 Km – 11.04 Millas
- Velocidad máxima: 91.2 Km/h – 56.67 Millas/h

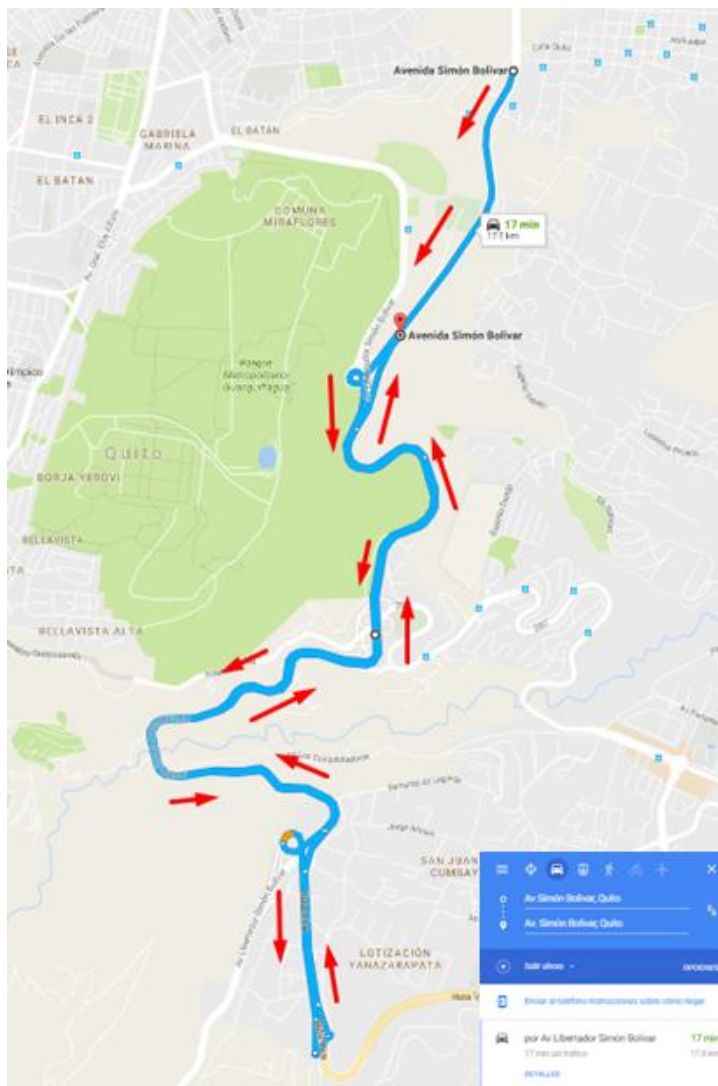


Figura 82. Ruta designada para la prueba FTP-75

Pruebas complementarias SFTP-SC03 (Supplemental Federal Test Procedure) para incluir las emisiones producidas al activar el aire acondicionado.

Parámetros principales para el ciclo SFTP-SC03 son:

- Distancia recorrida: 5.8 Km – 3.6 Millas
- Velocidad máxima: 88.2 Km/h – 54.8 Millas/h

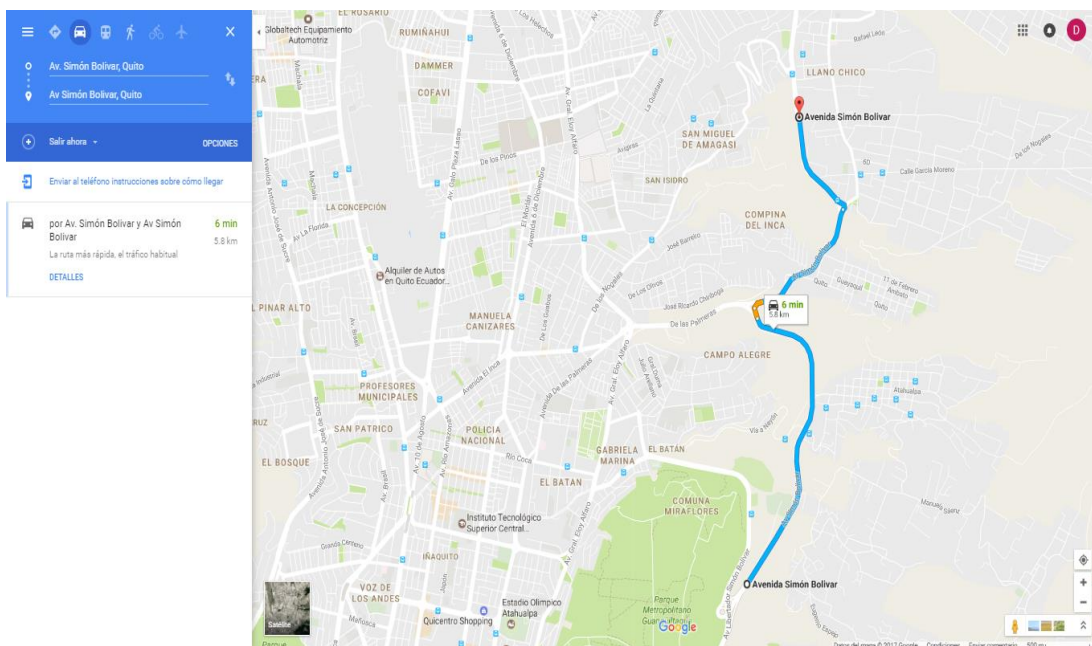


Figura 83. Ruta designada para la prueba SFTP

4.2 Influencia mecánica y térmica con la inyección de hidrógeno en la camioneta Chevrolet Dmax CRDI 3.0 4X4

4.2.1 Pruebas de torque y potencia

Las pruebas de torque y potencia realizadas en el dinamómetro del taller automotriz “Dinamyca Competición” se obtuvieron los siguientes resultados.

Las pruebas se realizaron en cinco diferentes condiciones, con inyección de hidrógeno a 25%, 50% 75% y 100% total del generador y a motor estándar (STD) sin inyección de hidrógeno, se efectuaron en la ciudad de Quito la cual está ubicada a 2800 metros sobre el nivel del mar y con 739,6 hPa de presión atmosférica.

a) Motor estándar

DYNomite Test Run: [Dario Borja #1373 on 2017-04-03 @ 16-10-14](#)
 Date: [4/3/2017](#)
 Correction Method: [SAE](#)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1500	39.12	-3.160	8.032	133.5
1600	50.19	-1.931	8.032	157.1
1700	51.01	-1.853	8.032	158.8
1800	60.51	-0.782	8.032	176.8
1900	70.52	0.375	8.032	194.9
2000	81.72	1.695	8.032	214.6
2100	94.10	3.163	8.032	235.3
2200	104.1	4.436	8.032	248.3
2300	111.0	5.149	8.032	253.5
2400	116.4	5.363	8.032	254.8
2500	121.0	5.434	8.032	254.2
2600	125.7	5.471	8.032	253.9
2700	131.2	5.541	8.032	255.2
2800	137.1	5.699	8.032	257.2
2900	140.7	5.788	8.032	254.7
3000	139.4	5.672	8.032	244.0
3100	133.8	5.406	8.032	226.6
3200	126.4	5.156	8.032	207.4
3300	119.2	4.978	8.032	190.0
3400	114.4	4.846	8.032	177.4
3500	111.4	4.733	8.032	168.1
3600	106.8	4.561	8.032	157.0
3700	101.3	4.405	8.032	145.2
3800	95.57	4.422	8.032	133.6
3900	91.94	4.459	8.032	125.4
4000	87.67	4.345	8.032	116.7

Figura 84. Prueba de torque y potencia con motor estándar “STD”

Con los datos obtenidos de la prueba el software se encarga de graficar las curvas tanto como de torque y potencia.

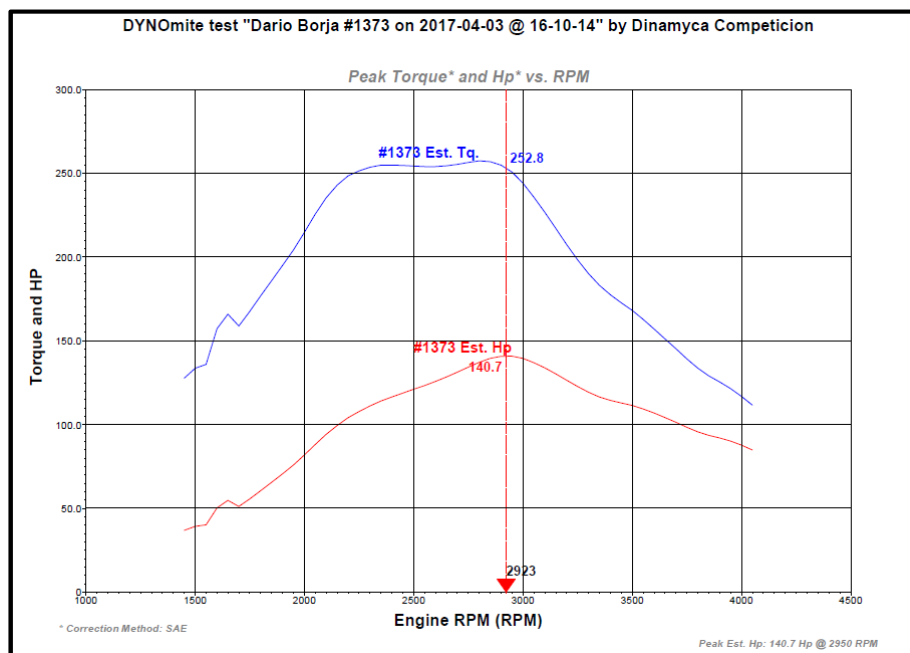


Figura 85. Prueba de torque y potencia con motor estándar “STD”

b) Inyección del 25% de hidrógeno

Con la inyección del 25% de hidrógeno se estabilizó el motor y se inició una nueva prueba de torque y potencia.

DYNomite Test Run: Dario Borja #1376 on 2017-04-03
 Date: 4/3/2017
 Correction Method: SAE

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1400	37.77	-3.447	8.032	136.3
1500	46.34	-2.564	8.032	154.3
1600	46.78	-2.504	8.032	154.9
1700	54.24	-1.657	8.032	168.2
1800	63.51	-0.667	8.032	185.3
1900	73.24	0.436	8.032	202.5
2000	84.33	1.755	8.032	221.5
2100	96.39	3.182	8.032	241.0
2200	107.3	4.419	8.032	256.2
2300	114.5	5.155	8.032	261.4
2400	119.2	5.396	8.032	260.8
2500	124.0	5.465	8.032	260.5
2600	128.7	5.496	8.032	260.0
2700	133.8	5.578	8.032	260.2
2800	139.2	5.701	8.032	261.0
2900	142.6	5.710	8.032	258.3
3000	141.1	5.585	8.032	247.1
3100	135.8	5.363	8.032	230.0
3200	129.8	5.118	8.032	211.4
3300	122.0	4.915	8.032	194.2
3400	116.8	4.800	8.032	181.0
3500	112.3	4.727	8.032	169.5
3600	106.9	4.547	8.032	157.1
3700	102.1	4.386	8.032	146.3
3800	97.12	4.371	8.032	135.7
3900	92.99	4.442	8.032	126.8

Figura 86. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 25%

Con la inyección del 25% de la capacidad total de generación de hidrógeno se revelan las siguientes curvas de rendimiento.

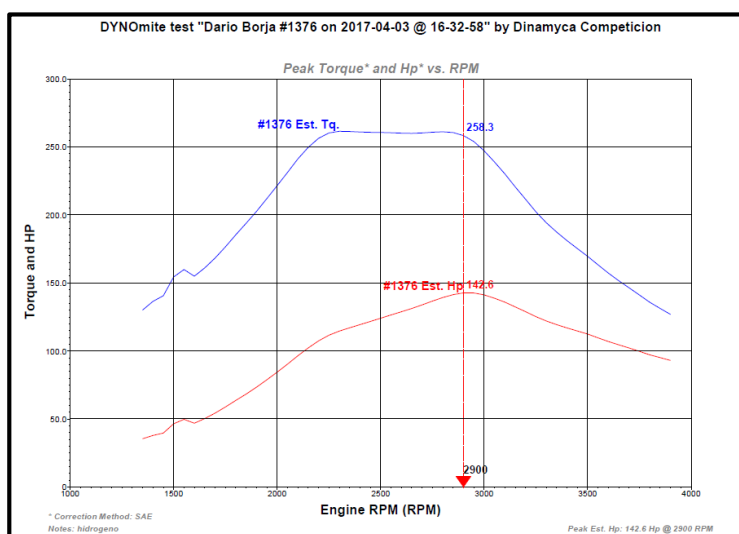


Figura 87. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 25%

c) Inyección del 50% de hidrógeno

Con la inyección del 50% de hidrógeno, se estabilizó el motor y se inició una nueva prueba de torque y potencia.

DYNomite Test Run: Dario Borja #1377 on 2017-04-03
 Date: 4/3/2017
 Correction Method: SAE

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1500	16.96	-3.674	8.032	57.33
1600	46.32	-2.716	8.032	148.6
1700	50.80	-2.244	8.032	158.1
1800	61.37	-1.110	8.032	179.1
1900	71.37	0.029	8.032	197.3
2000	82.56	1.355	8.032	216.8
2100	94.78	2.833	8.032	237.1
2200	106.2	4.187	8.032	253.4
2300	115.0	5.012	8.032	262.7
2400	120.5	5.296	8.032	263.6
2500	124.6	5.369	8.032	261.8
2600	129.2	5.416	8.032	261.1
2700	134.4	5.500	8.032	261.4
2800	139.9	5.621	8.032	262.5
2900	143.4	5.652	8.032	259.8
3000	142.4	5.516	8.032	249.2
3100	137.0	5.255	8.032	232.1
3200	129.9	5.011	8.032	213.2
3300	123.4	4.843	8.032	196.5
3400	118.6	4.729	8.032	183.7
3500	113.6	4.632	8.032	171.3
3600	108.0	4.466	8.032	158.7
3700	103.2	4.308	8.032	147.8
3800	96.53	4.265	8.032	137.7

Figura 88. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 50%

Con la inyección del 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno se revelan las siguientes curvas de rendimiento.

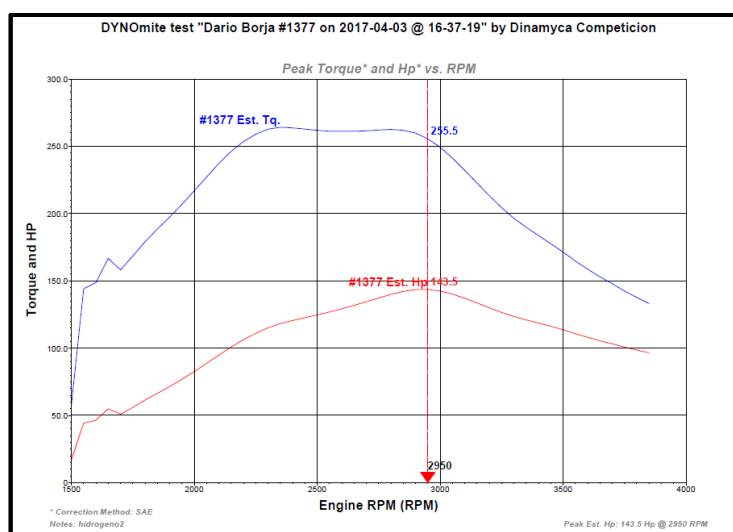


Figura 89. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 50%

d) Inyección del 75% de hidrógeno

Con la inyección del 75% de hidrógeno, se estabilizó el motor y se inició una nueva prueba de torque y potencia.

DYNomite Test Run: [Dario Borja #1379 on 2017-04-03](#)
 Date: [4/3/2017](#)
 Correction Method: [SAE](#)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1600	48.30	-2.606	16.26	151.6
1700	48.63	-2.537	16.26	151.7
1800	60.46	-1.379	16.26	176.5
1900	70.71	-0.243	16.26	195.5
2000	82.34	1.055	16.26	216.3
2100	95.14	2.497	16.26	237.9
2200	106.5	3.813	16.26	254.4
2300	115.5	4.700	16.26	263.6
2400	121.7	5.044	16.26	266.3
2500	125.7	5.096	16.26	264.2
2600	129.9	5.108	16.26	262.4
2700	135.3	5.176	16.26	263.1
2800	140.4	5.324	16.26	263.4
2900	143.7	5.418	16.26	260.3
3000	142.8	5.295	16.26	250.0
3100	137.4	5.032	16.26	232.8
3200	130.2	4.821	16.26	213.6
3300	123.3	4.628	16.26	196.2
3400	118.6	4.441	16.26	183.7
3500	114.4	4.316	16.26	172.5
3600	109.4	4.169	16.26	160.7
3700	104.5	4.005	16.26	149.7
3800	99.45	3.965	16.25	138.9
3900	95.90	4.033	16.25	130.7

Figura 90. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 75%

Con la inyección del 75% de la capacidad total de generación de hidrógeno se revelan las siguientes curvas de rendimiento.

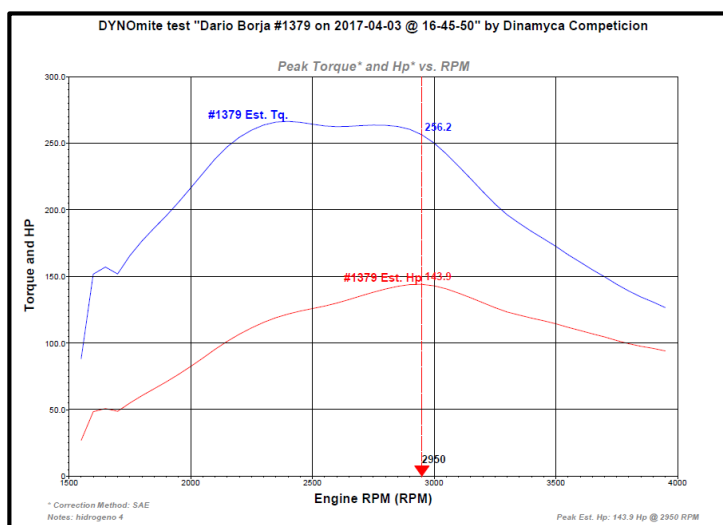


Figura 91. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno al 75%

e) Inyección del 100% de hidrógeno

Con la inyección del 100% de hidrógeno, se estabilizó el motor y se inició una nueva prueba de torque y potencia.

DYNomite Test Run: [Dario Borja #1380 on 2017-04-03 @ 16-48-29](#)
 Date: [4/3/2017](#)
 Correction Method: [SAE](#)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1600	42.71	-2.776	8.032	135.3
1700	56.60	-1.603	8.032	167.7
1800	58.49	-1.386	8.032	171.2
1900	69.19	-0.181	8.032	191.3
2000	81.03	1.138	8.032	212.8
2100	93.70	2.565	8.032	234.3
2200	104.7	3.862	8.032	249.8
2300	113.2	4.697	8.032	258.5
2400	119.7	5.013	8.032	261.9
2500	124.3	5.065	8.032	261.1
2600	129.1	5.081	8.032	260.7
2700	134.7	5.153	8.032	262.0
2800	140.5	5.301	8.032	263.5
2900	144.0	5.392	8.032	260.7
3000	142.8	5.280	8.032	249.9
3100	137.4	5.022	8.032	232.7
3200	130.4	4.808	8.032	213.9
3300	123.6	4.622	8.032	196.8
3400	119.0	4.443	8.032	184.3
3500	115.0	4.302	8.032	173.3
3600	109.5	4.149	8.032	160.8
3700	104.4	4.001	8.032	149.6
3800	99.55	3.946	8.032	139.0
3900	95.27	4.022	8.032	129.8
4000	90.68	3.910	8.032	120.6

Figura 92. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno 100%

Con la inyección del 100% de la capacidad total de generación de hidrógeno se revelan las siguientes curvas de rendimiento.

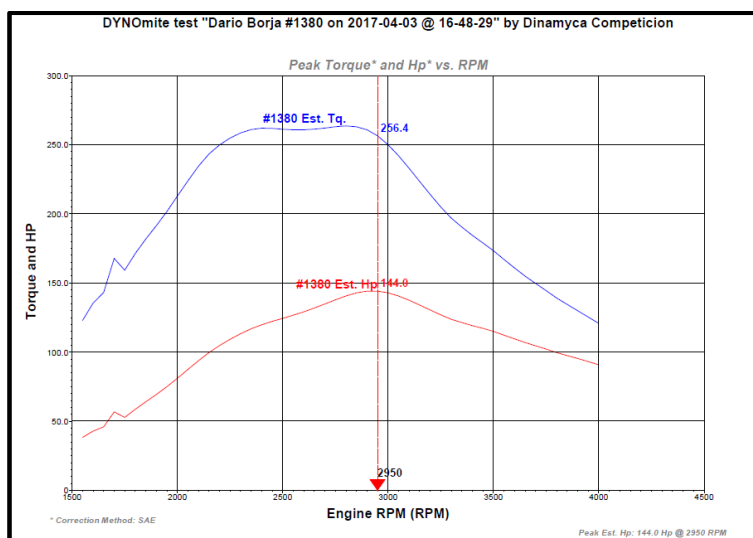


Figura 93. Prueba torque y potencia con inyección de hidrógeno 100%

f) Resumen estadístico de pruebas de torque y potencia

En la siguiente figura presenta los valores de potencia obtenidos en el motor de combustión interna diésel de la camioneta Chevrolet D-Max, con diferentes caudales de hidrógeno se presenta un desempeño mejorado en potencia con un aumento de 1.9 HP al 25% de hidrógeno, 2.7 HP al 50% de hidrógeno, 3 HP al 75% de hidrógeno y 3,3 HP al 100% de hidrógeno con respecto al desempeño del motor estándar.

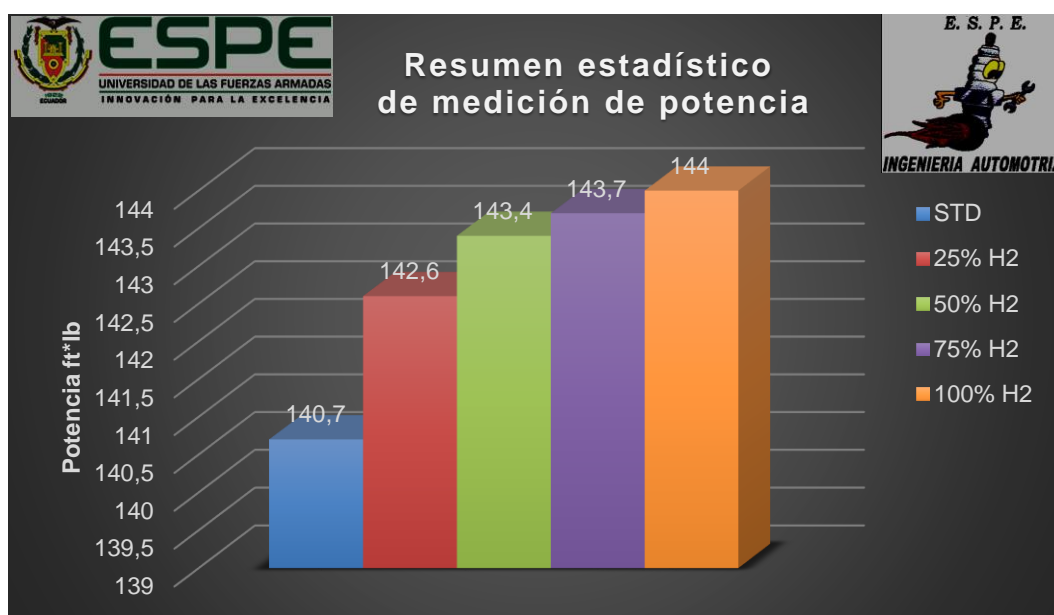


Figura 94. Resumen estadístico de potencia en las distintas etapas de prueba

En la figura 95 se presenta la variación de la potencia en las diferentes condiciones aplicadas al motor, tomando en cuenta como valor base de comparación la potencia obtenida del motor en forma estándar, presentando un desempeño notable en cada una de ellas, al 25% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 1,35%, al 50% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 1,92%, al 75% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 2,13% y siendo el aumento más alto y notable con 100% de hidrógeno con 2,35%.

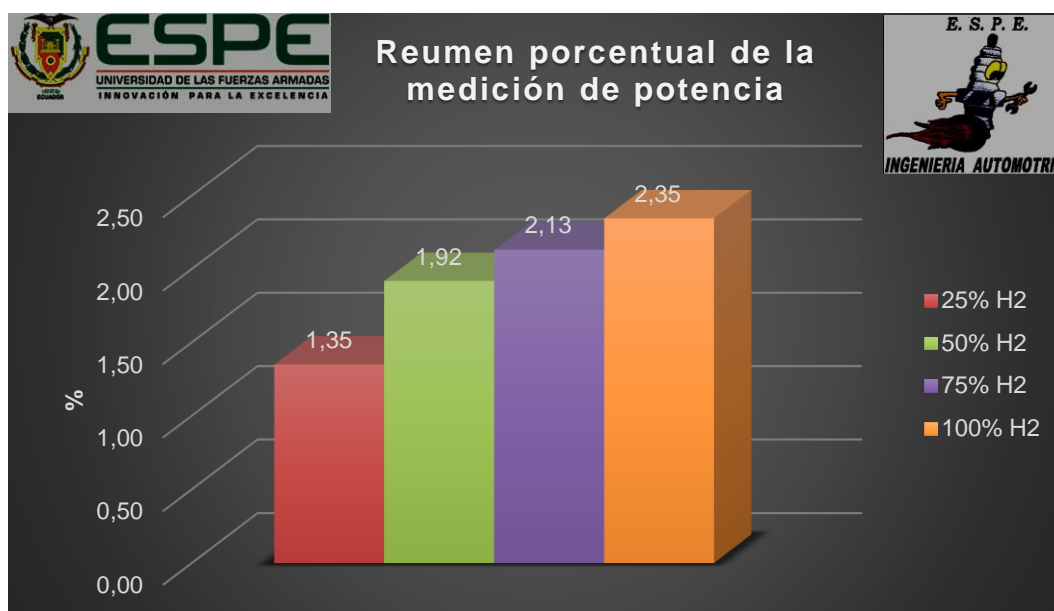


Figura 95. Resumen porcentual de la medición de potencia

A continuación se presenta los valores correspondientes a torque en los distintos caudales de hidrógeno inyectados, obteniendo un aumento de igual manera de 3.6 ft*lb al 25% de hidrógeno, 5.1 ft*lb al 50% de hidrógeno, 5.6 ft*lb al 75% de hidrógeno y al mayor valor se registró con la inyección del 100% de hidrógeno con el aumento de 6 ft*lb del valor con motor estándar.

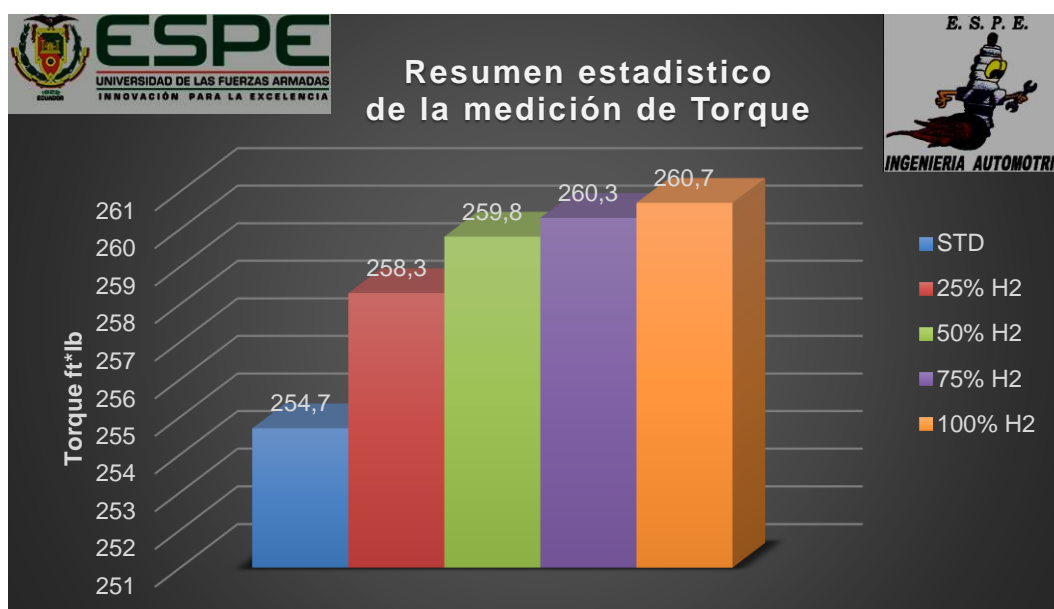


Figura 96. Resumen estadístico de torque en las distintas etapas de prueba

En la figura 97 se presenta la variación del torque en las diferentes condiciones aplicadas al motor, tomando en cuenta como valor base de comparación el torque del motor obtenido en forma estándar, presentando resultados favorables en cada una de ellas, al 25% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 1,41%, al 50% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 2%, al 75% de hidrógeno se obtuvo un aumento del 2,2% y siendo el aumento más alto y notable con 100% de hidrógeno con 2,36%.

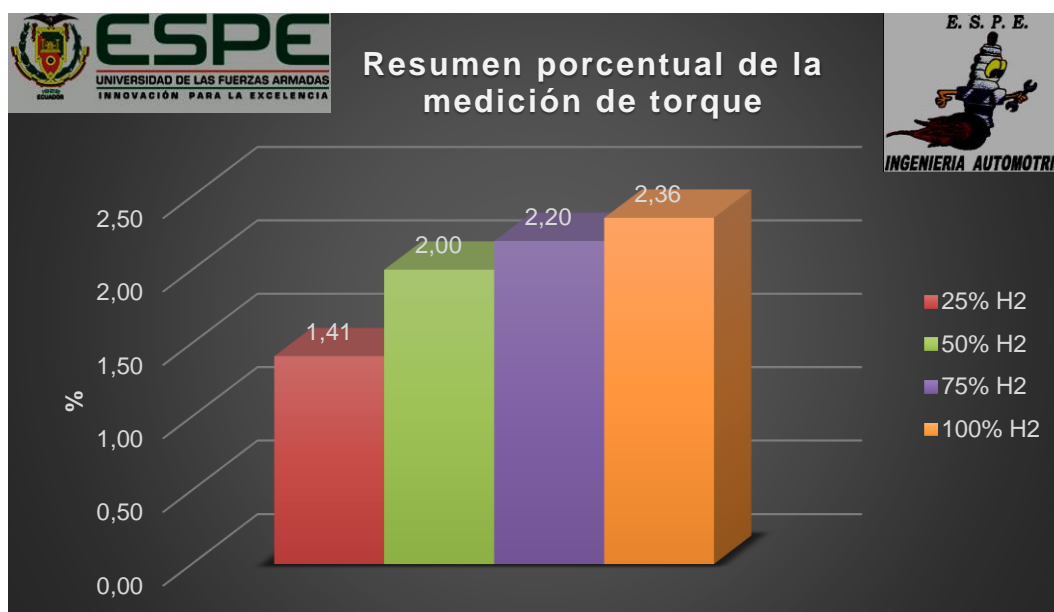


Figura 97. Resumen porcentual de la medición de torque

4.2.2 Resultados de pruebas de opacidad

Por medio del medidor de opacidad Cartek se obtuvo las respectivas mediciones para el motor estándar y con inyección de hidrógeno en sus diferentes caudales.

Tabla 17.

Datos obtenidos de opacidad en las distintas etapas de prueba

	STD	25% de H ₂	50% de H ₂	75% de H ₂	100% de H ₂
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Medición 1	1,24	0,9	0,51	0,83	0,45
Medición 2	1,03	0,71	0,74	0,61	0,54
Medición 3	1,1	0,77	0,9	0,37	0,59

CONTINÚA



Promedio	1,12	0,79	0,72	0,60	0,53
Resultado porcentual	100 %	70,62%	63,80%	53,71%	46,88%

La tabla 17 presenta las diferentes mediciones tomadas para cada porcentaje de hidrógeno y con motor estándar, para cada una se realizaron tres mediciones obteniendo un promedio y en la cual se calcula su resultado en porcentaje.



Figura 98. Resumen estadístico de la medición de opacidad

En la figura 98 se presenta en porcentaje la disminución de la opacidad con respecto al motor estándar de la camioneta Chevrolet Dmax, obteniendo una disminución notable para cada caudal de hidrógeno siendo la más significativa con un 53,12% al inyectar 100% de la capacidad del generador de hidrógeno.

4.2.3 Análisis de gases de escape AGS 688

Después de efectuado los protocolos de pruebas a las distintos porcentajes de hidrógeno, se imprimirán los informes y se tabularán los datos obtenidos, se debe tener en cuenta que en este equipo de medición es necesario plantearnos a las revoluciones que deseamos hacer el análisis; nos planteamos realizarlas a 750, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 rpm, para la

toma de datos se mantiene como mínimo 15 segundos en el rango seleccionado, todo este procedimiento se lo realizará dos veces para una convalidación de datos.

Se detallarán las tablas con los datos obtenidos en cada rango de revoluciones así también a cada condición de ingreso de hidrógeno empezando como referencia los valores con el motor estándar sin adición de hidrógeno.

Tabla 18.

Datos obtenidos de la prueba de gases a motor estándar

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	78	0.03	1.6	0	18.6	140	0
	2	78	0.03	1.6	0	18.6	145	0
	Promedio	78	0.03	1.6	0	18.6	142.5	0
1500	1	79	0.08	1.7	0	18.3	74	0
	2	80	0.07	1.7	0	18.4	78	0
	Promedio	79.5	0.075	1.7	0	18.35	76	0
2000	1	82	0.16	1.9	0	17.9	73	0
	2	84	0.14	2	0	18.2	88	0
	Promedio	83	0.15	1.95	0	18.05	80.5	0
2500	1	85	0.2	2.2	0	17.6	82	0
	2	87	0.2	2.1	0	17.7	85	0
	Promedio	86	0.2	2.15	0	17.65	83.5	0
3000	1	88	0.14	2.5	1	17.6	127	0
	2	91	0.1	2.5	2	17.3	143	0
	Promedio	89.5	0.12	2.5	1.5	17.45	135	0
3500	1	92	0.05	2.9	0	16.9	261	0
	2	94	0.04	2.9	1	16.8	283	0
	Promedio	93	0.045	2.9	0.5	16.85	272	0
Promedio Total		84.83	0.103	2.13	1.00	17.825	131.58	0.00

La siguiente tabla mostrará los datos obtenidos con la adición del 25% de la capacidad total de generación de hidrógeno al motor, a las mismas revoluciones de prueba, recalcando que para cada medición se debe mantener por lo menos 15 segundos en ese rango para que los valores se estabilicen y sean válidos.

Tabla 19.

Datos obtenidos de la prueba de gases a 25% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.5	0	18.9	149	0
	2	87	0.02	1.5	0	18.7	155	0
	Promedio	87.5	0.02	1.5	0	18.8	152	0
1500	1	87	0.07	1.7	0	18.4	84	0
	2	88	0.07	1.7	0	18.3	78	0
	Promedio	87.5	0.07	1.7	0	18.35	81	0
2000	1	89	0.14	1.9	0	18	87	0
	2	90	0.14	1.8	0	18	85	0
	Promedio	89.5	0.14	1.85	0	18	86	0
2500	1	91	0.19	2.3	0	17.6	104	0
	2	91	0.19	2.2	0	17.6	93	0
	Promedio	91	0.19	2.25	0	17.6	98.5	0
3000	1	93	0.1	2.5	2	17.2	143	0
	2	93	0.1	2.6	1	17.3	146	0
	Promedio	93	0.1	2.55	1.5	17.25	144.5	0
3500	1	95	0.06	2.9	0	16.9	275	0
	2	96	0.05	2.9	1	16.7	289	0
	Promedio	95.5	0.055	2.9	0.5	16.8	282	0
Promedio Total		90.67	0.096	2.13	1.00	17.800	140.67	0.00

La siguiente tabla detallará los datos obtenidos en el análisis de gases al 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno.

Tabla 20.

Datos obtenidos de la prueba de gases a 50% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	91	0.02	1.5	0	18.7	161	0
	2	90	0.02	1.4	0	18.8	130	0
	Promedio	90.5	0.02	1.45	0	18.75	145.5	0
1500	1	90	0.06	1.8	0	18.3	108	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.5	87	0
	Promedio	90	0.065	1.75	0	18.4	97.5	0
2000	1	90	0.14	1.9	0	18.2	99	0
	2	91	0.14	1.9	0	18.1	91	0
	Promedio	90.5	0.14	1.9	0	18.15	95	0
2500	1	93	0.18	2.3	0	17.2	108	0
	2	94	0.19	2.2	0	17.4	105	0

CONTINÚA



	Promedio	93.5	0.185	2.25	0	17.3	106.5	0
3000	1	93	0.11	2.6	6	17.5	146	0
	2	95	0.1	2.5	5	17.6	166	0
	Promedio	94	0.105	2.55	5.5	17.55	156	0
3500	1	96	0.05	2.9	3	17.2	277	0
	2	99	0.04	2.9	3	17	298	0
	Promedio	97.5	0.045	2.9	3	17.1	287.5	0
	Promedio Total	92.67	0.093	2.13	4.25	17.875	148.00	0.00

La siguiente tabla detallará los resultados obtenidos en el análisis de gases al 75% de la capacidad total de generación de hidrógeno y efectuando las pruebas con los parámetros planteados y el procedimiento prescrito.

Tabla 21.

Datos obtenidos de la prueba de gases a 75% de hidrógeno

RPM	Medición	Tempe- ratura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	19.1	139	0
	2	87	0.02	1.6	0	18.5	150	0
	Promedio	87.5	0.02	1.6	0	18.8	144.5	0
1500	1	88	0.07	1.7	0	18.1	84	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.2	90	0
	Promedio	89	0.07	1.7	0	18.15	87	0
2000	1	89	0.15	1.9	0	17.8	87	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	89	0
	Promedio	89.5	0.15	1.9	0	17.8	88	0
2500	1	90	0.19	2.2	0	17.4	103	0
	2	92	0.19	2.2	0	17.3	107	0
	Promedio	91	0.19	2.2	0	17.35	105	0
3000	1	92	0.11	2.6	8	17.2	156	0
	2	93	0.1	2.7	7	16.9	169	0
	Promedio	92.5	0.105	2.65	7.5	17.05	162.5	0
3500	1	94	0.05	3	5	16.6	281	4.818
	2	96	0.05	3	1	16.5	302	4.799
	Promedio	95	0.05	3	3	16.55	291.5	4.8085
	Promedio Total	90.75	0.098	2.18	5.25	17.617	146.42	4.809

Los datos obtenidos al realizar la prueba de gases a la máxima capacidad de generación de hidrógeno revelaron datos que se detallarán a continuación cuyos resultados fueron promediados en cada uno de los gases analizados.

Tabla 22.

Datos obtenidos inyección 100% de hidrógeno

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	18.5	157	0
	2	88	0.02	1.6	0	18.5	159	0
	Promedio	88	0.02	1.6	0	18.5	158	0
1500	1	89	0.08	1.7	0	18.2	79	0
	2	89	0.07	1.7	0	18.3	86	0
	Promedio	89	0.075	1.7	0	18.25	82.5	0
2000	1	89	0.14	2	0	17.9	94	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	91	0
	Promedio	89.5	0.145	1.95	0	17.85	92.5	0
2500	1	91	0.19	2.2	0	17.5	102	0
	2	92	0.19	2.3	0	17.4	102	0
	Promedio	91.5	0.19	2.25	0	17.45	102	0
3000	1	94	0.1	2.7	8	16.9	160	0
	2	96	0.1	2.7	5	17.3	185	0
	Promedio	95	0.1	2.7	6.5	17.1	172.5	0
3500	1	96	0.05	3	1	16.5	286	4.815
	2	97	0.05	3	5	16.6	296	4.82
	Promedio	96.5	0.05	3	3	16.55	291	4.8175
Promedio Total		91.58	0.097	2.20	4.75	17.617	149.75	4.818

La comparación de los valores se lo realiza por cada gas individualmente para una mejor visualización y entendimiento de los valores

a) Análisis de los datos obtenidos del monóxido de carbono CO

La siguiente tabla compararemos los valores resultantes de CO medidos en los diferentes rangos de revoluciones así como de porcentajes de hidrógeno adicionados en el motor, para cada curva se tomaron los valores promedios de las dos pruebas realizadas para cada régimen.

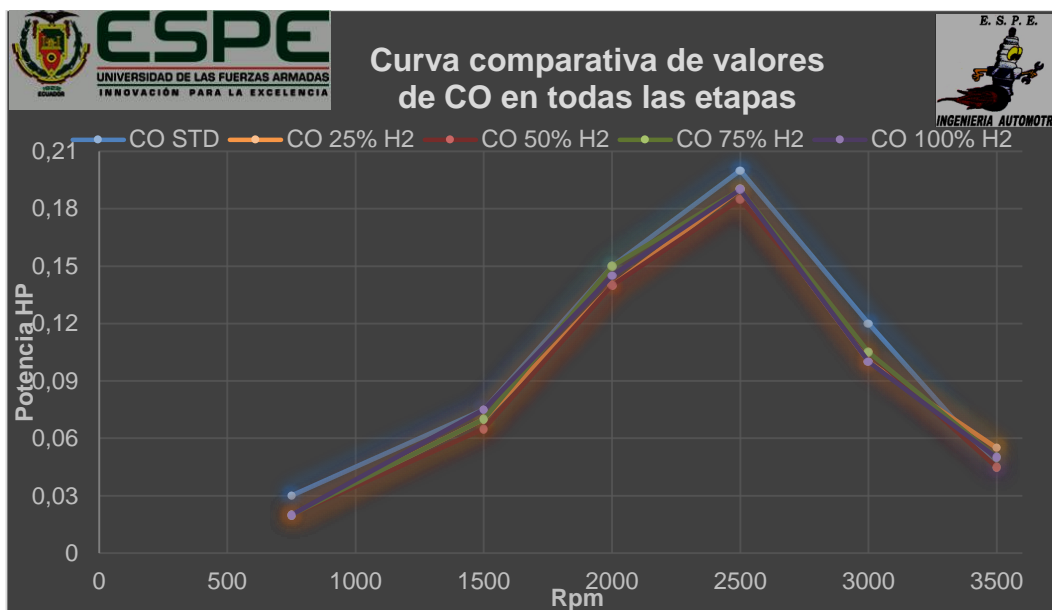


Figura 99. Curvas comparativas de valores de CO en todas las etapas

Con las curvas expuestas es necesario realizar una gráfica que describa la variación de los valores de CO en valores promedio de las distintas pruebas de cada etapa para realizar un mejor análisis.

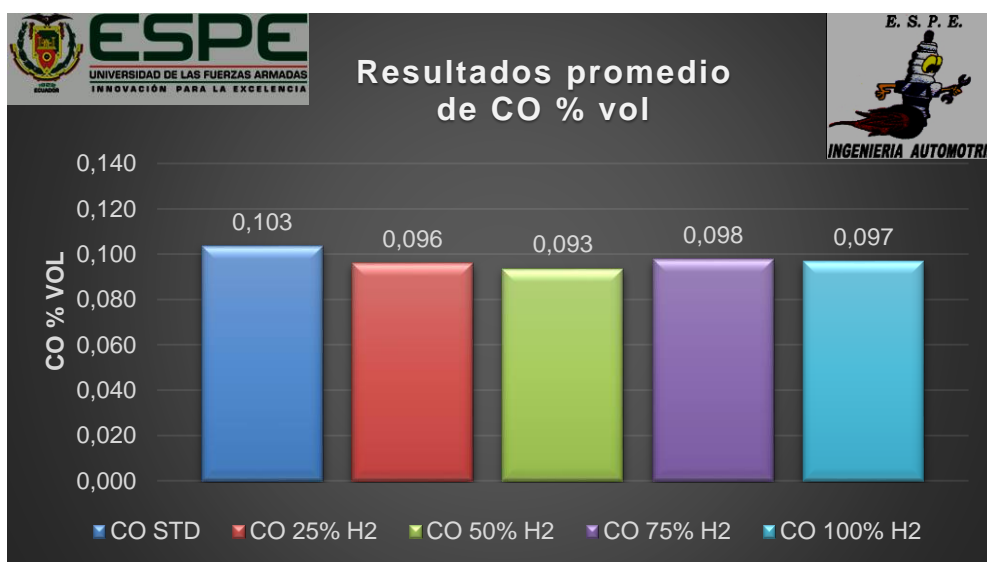


Figura 100. Resultados promedio de CO % vol

La figura 101 muestra los porcentajes de reducción del gas CO con la adición de hidrógeno teniendo que al 25% de la capacidad de generación la reducción fue del 7,26%, al 50% de la capacidad de generación de hidrógeno

fue del 9,68% siendo este el porcentaje más alto de disminución del gas, el 75% obtuvo una reducción del 5,65% y el 100% de generación genero una disminución del 6.45%.

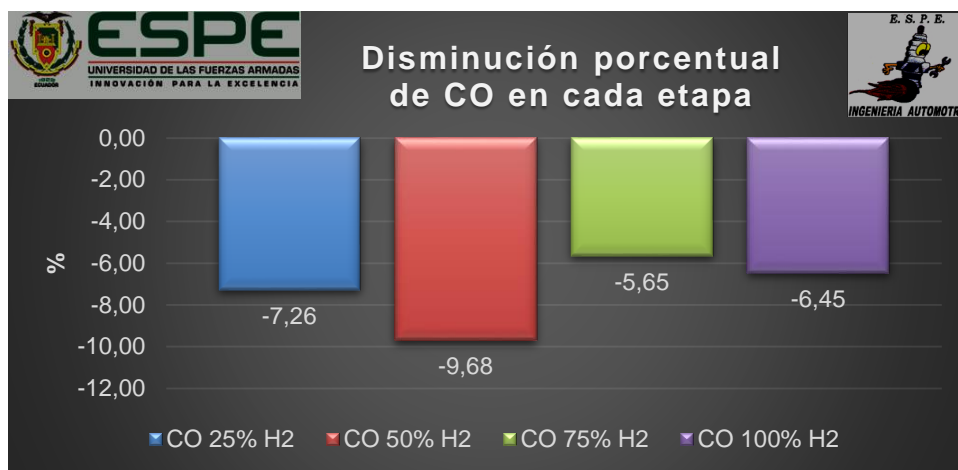


Figura 101. Disminución porcentual de CO en cada etapa

b) Análisis de los datos obtenidos del dióxido de carbono CO₂

La siguiente figura nos muestra las curvas de los valores del gas CO₂ a los diferentes regímenes de trabajo del motor, además de los diferentes porcentajes de generación de hidrógeno obtenidos del valor promedio de las dos mediciones en cada caso

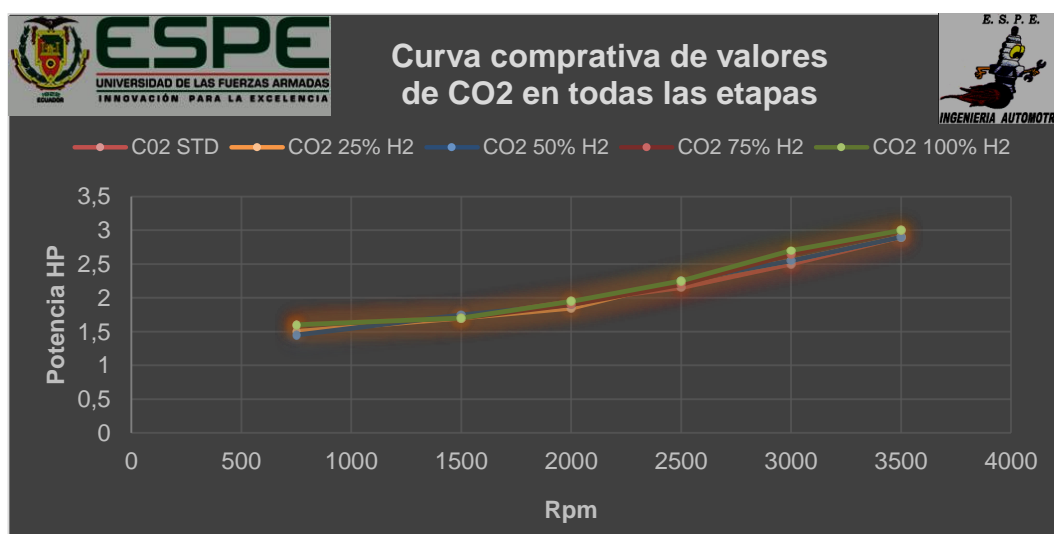


Figura 102. Curvas comparativas de valores de CO₂ en todas las etapas

La siguiente figura nos muestra los resultados obtenidos al promediar los datos finales de cada prueba teniendo como valor mínimo el de 2.125 %vol en la condición de 25% de hidrógeno y el mayor de 2.200 %vol perteneciente a la condición de 100% de generación de hidrógeno

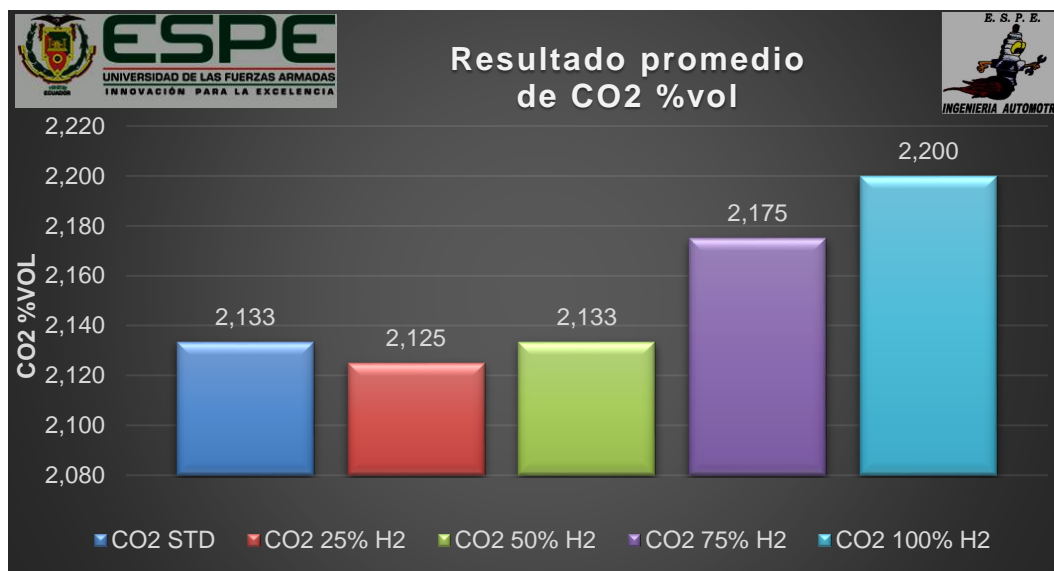


Figura 103. Resultado promedio de CO₂ %vol

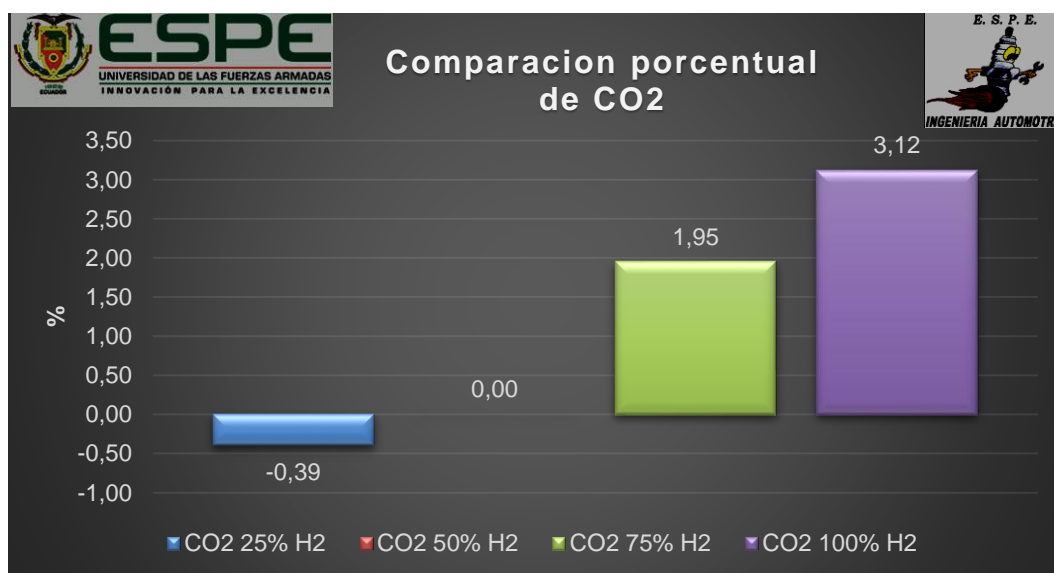


Figura 104. Comparación porcentual de CO₂%

En el gas CO₂ la única condición de generación de hidrógeno conveniente es al 25% de su capacidad total ya que redujo en un 0.39% del valor referente

cuando el motor se encontraba en la condición de estándar, mientras tanto a un 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno mantuvo el valor de medición igual al referente, en la condición del 75% de hidrógeno el valor aumento en 1.95% y en la carga máxima del generador de hidrógeno al 100% el valor del gas se elevó en un 3.12%.

c) Análisis de los datos obtenidos de hidrocarburos HC

La figura 105 muestra las curvas características generadas por los valores promediados de cada prueba realizada a los diferentes regímenes del motor en cada condición de generación de hidrógeno.

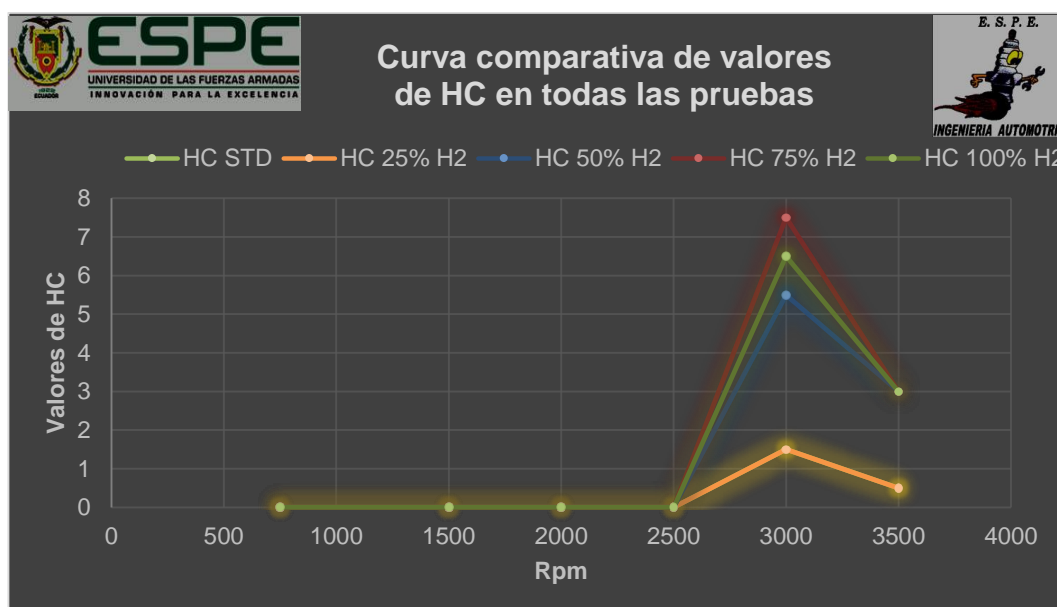


Figura 105. Curva comparativa de los valores de HC en todas las pruebas

La figura 106 muestra los valores promediados totales para un análisis general el cual no es muy positivo porque la única condición favorable es a 25% de la generación de hidrógeno que mantiene el valor referencial, las demás condiciones elevan el valor de HC.

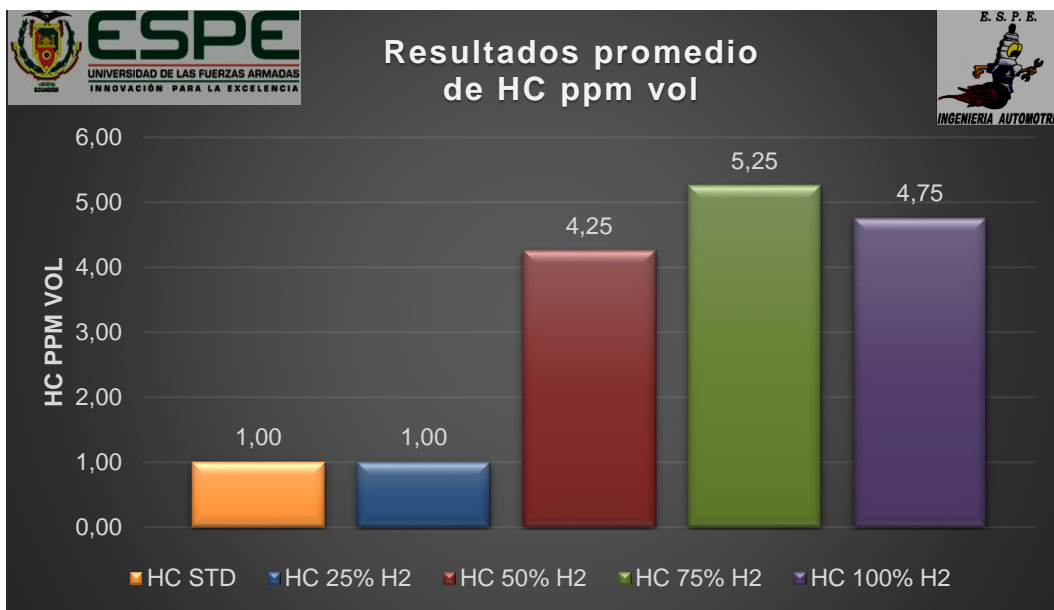


Figura 106. Resultados promedio de HC ppm vol

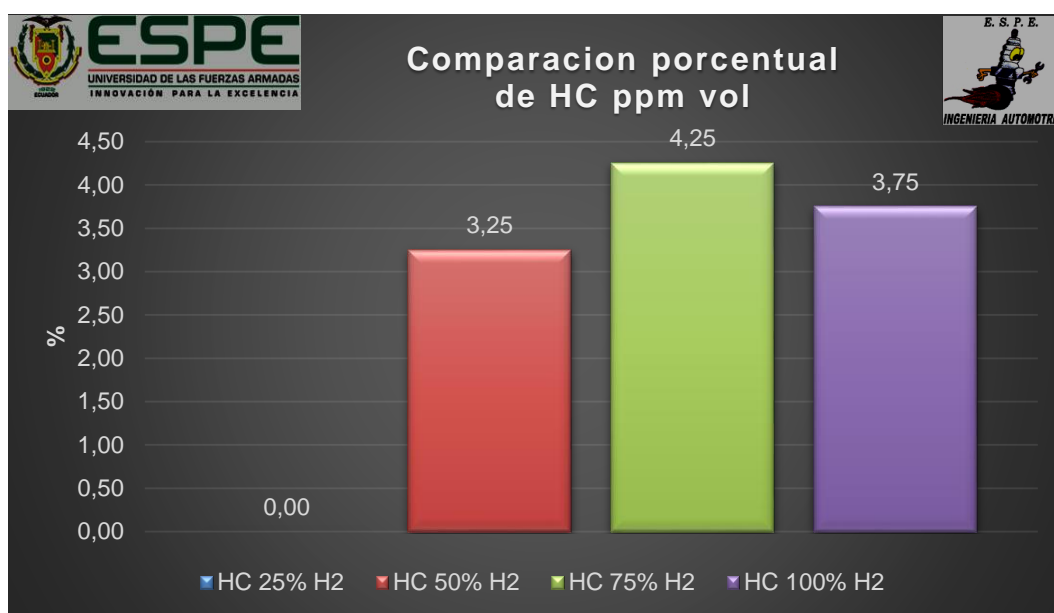


Figura 107. Comparación porcentual de HC ppm vol

Respecto al gas HC la adición de hidrógeno hace que este valor se eleve siendo así que al 100% de su generación total el gas se elevó un 3.75%, al 75% de su generación de hidrógeno produce el valor más alto incrementándolo en un 4.25% de su valor referencial, el 50% de generación incrementa en un 3,25% y por último en la condición de 25% de hidrógeno mantiene el valor respecto al valor referencial en condición estándar.

d) Análisis de los datos obtenidos de óxidos de nitrógeno NOx

El NOx nos reflejó datos importantes, revelando que sus valores altos se producen en revoluciones mínimas y máximas, disminuyendo este valor en revoluciones medias como muestra la siguiente figura que está en base a los valores obtenidos de las pruebas.

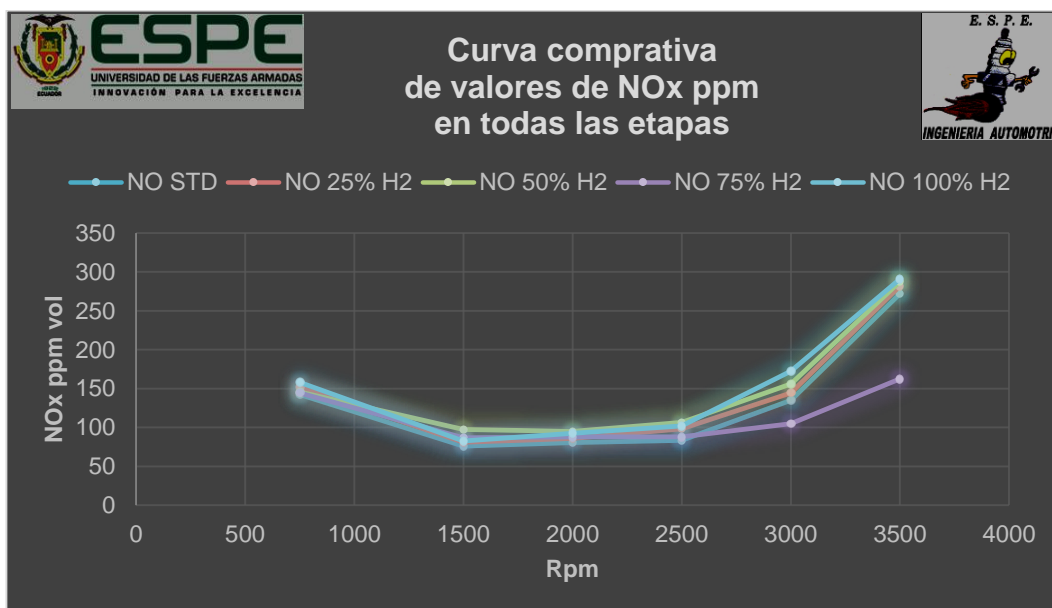


Figura 108. Curva de valores comparativos de NOx en todas las etapas

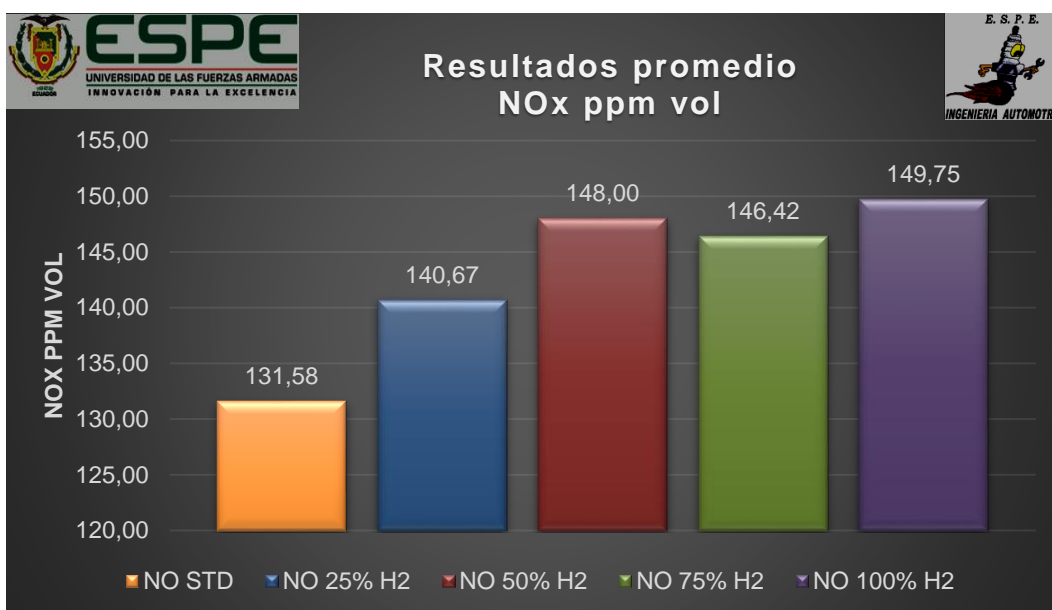


Figura 109. Resultados promedio NOx ppm vol

Al realizar un promedio general de todas las pruebas en cada condición de generación de hidrógeno, se llegó a la conclusión que aumenta en todas las etapas de medición siendo el mayor valor en su máxima generación de hidrógeno con 149.75ppm vol.

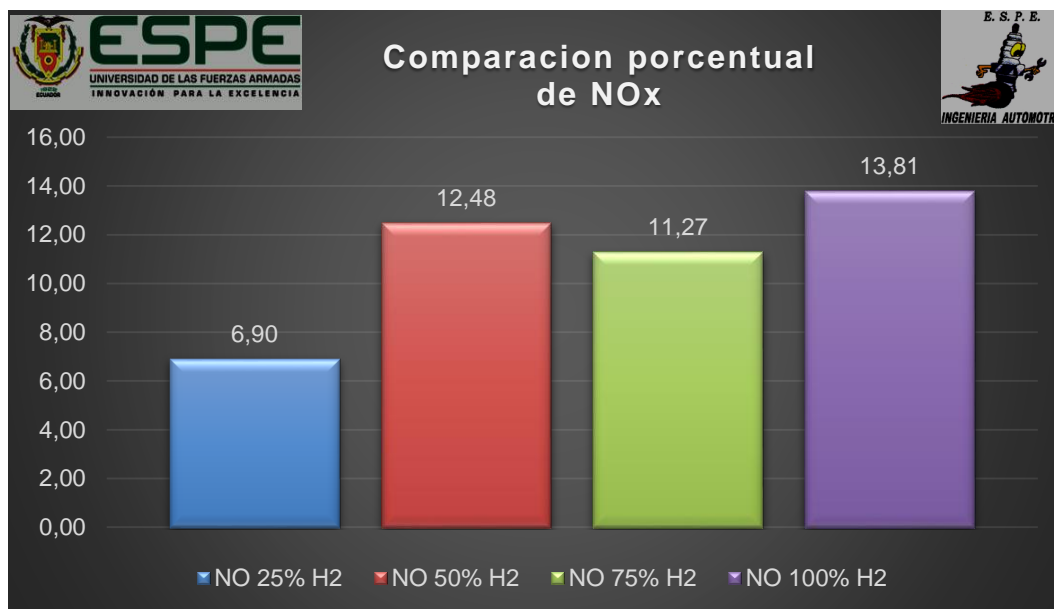


Figura 110. Comparación porcentual de NOx

La imagen 110 refleja los valores promediados de la prueba de NOx dando que al adicionar 25% de la capacidad de generación aumenta el valor del gas en un 6.90%, al adicionar 50% de hidrógeno el valor aumenta en un 12.48%, el 75% de generación incrementa un 11.27% mientras que el valor máximo se obtuvo al generar hidrógeno en su máxima capacidad, esto aumentó el valor del gas en un 13.81% del valor en estado estándar.

e) Análisis de los datos obtenidos de oxígeno O₂

El gas O₂ tiene un descenso en los valores resultantes de cada prueba mientras mayores sean las revoluciones menor será el valor en todas las condiciones de prueba, como lo demuestra la siguiente figura que fue realizada en base a los valores promediados de cada prueba en las distintas condiciones de investigación.

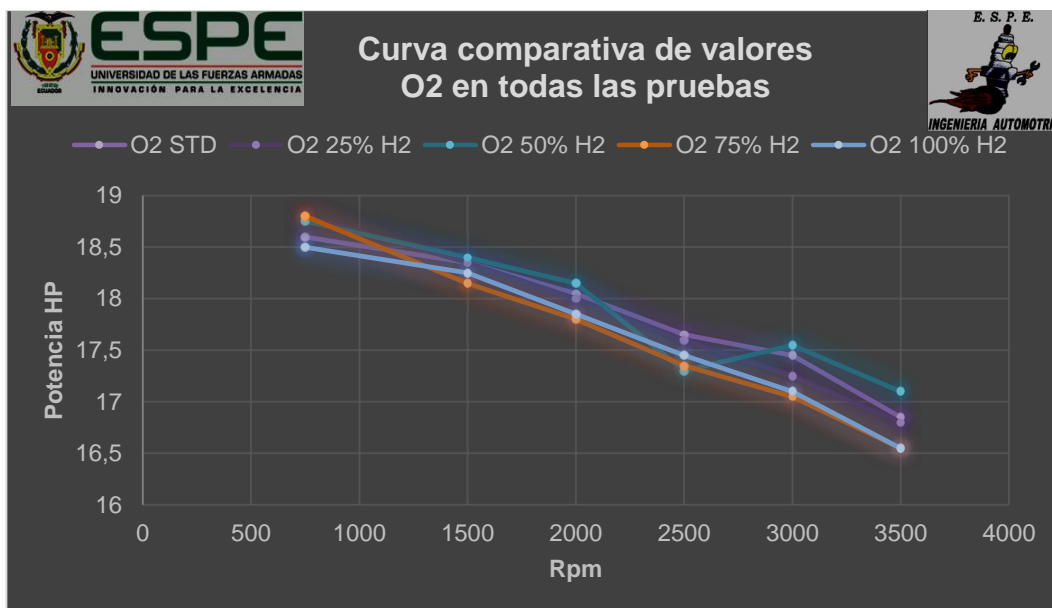


Figura 111. Curva comparativa de valores O₂ en todas las pruebas



Figura 112. Resultados promedio de O₂ % vol

El valor más alto de O₂ lo produce la condición de 50% de generación de hidrógeno con el 17.875 %vol, mientras que el valor mínimo lo produjo la condición de 100% de hidrógeno llegando a un valor de 17.617 %vol.

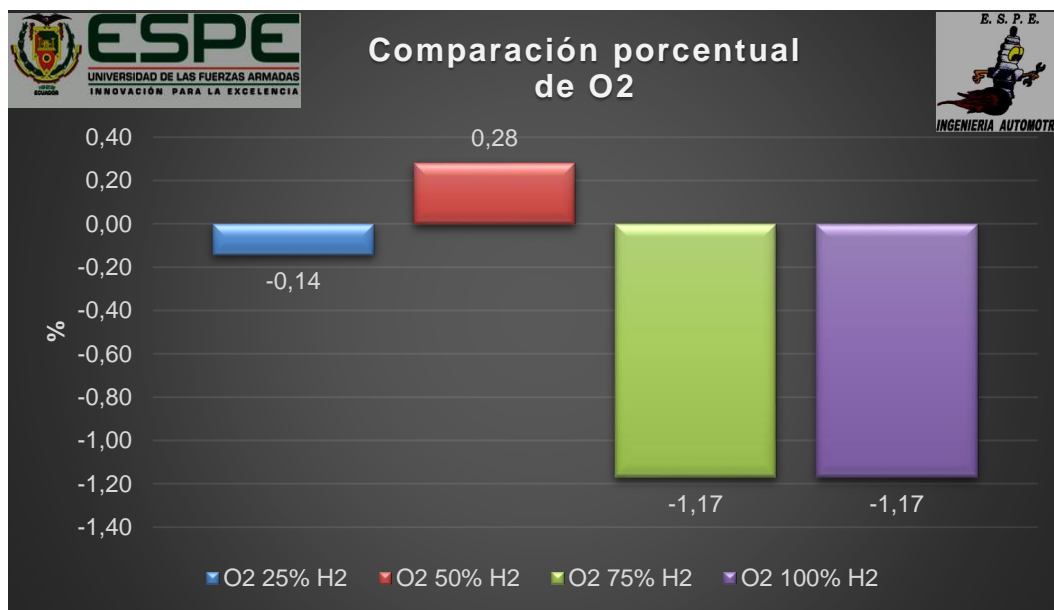


Figura 113. Comparación porcentual de O₂

La utilización del hidrógeno reduce el O₂ en los gases de escape siendo el valor más alto en dos condiciones de prueba a 75% y 100% de la generación de hidrógeno disminuyendo en 1.17% respecto al valor referencial del motor estándar, la condición de 50% de hidrógeno aumentó mínimamente el O₂ en un 0.28% más y por último la condición de 35% de generación reduce un 0.14% el O₂.

f) Análisis de los datos obtenidos de valor de lambda λ

Las curvas de los valores de lambda son realizadas solo con las condiciones de 75% y 100% de generación de hidrógeno ya que en las anteriores condiciones no registro valores, este valor se produce exclusivamente en altas revoluciones como muestra la siguiente figura tomando los datos promediados de las dos pruebas realizadas mediante el analizador de gases.

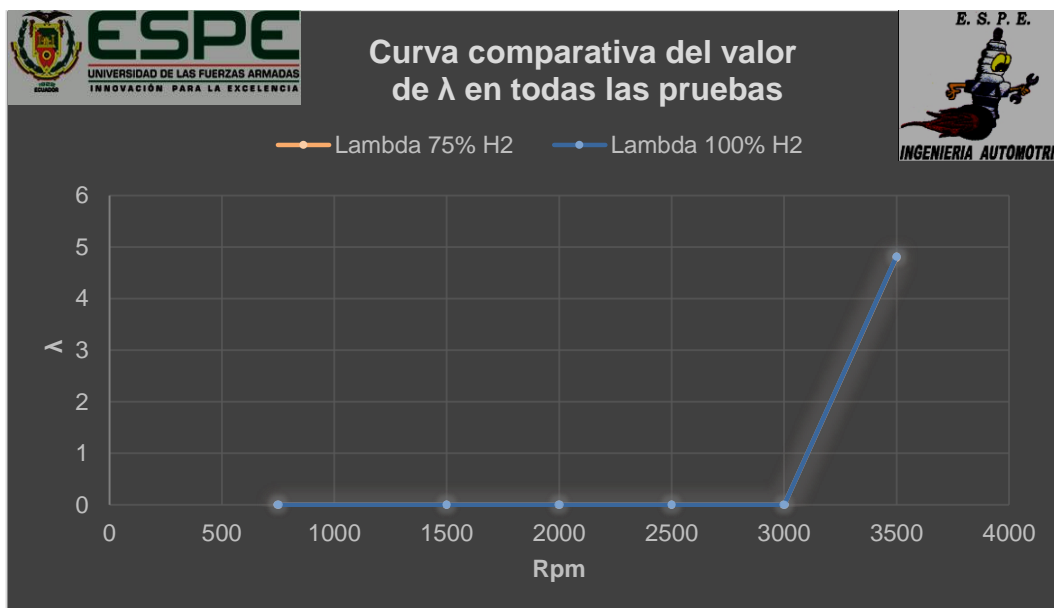


Figura 114. Curva comparativa del valor de λ en todas las pruebas

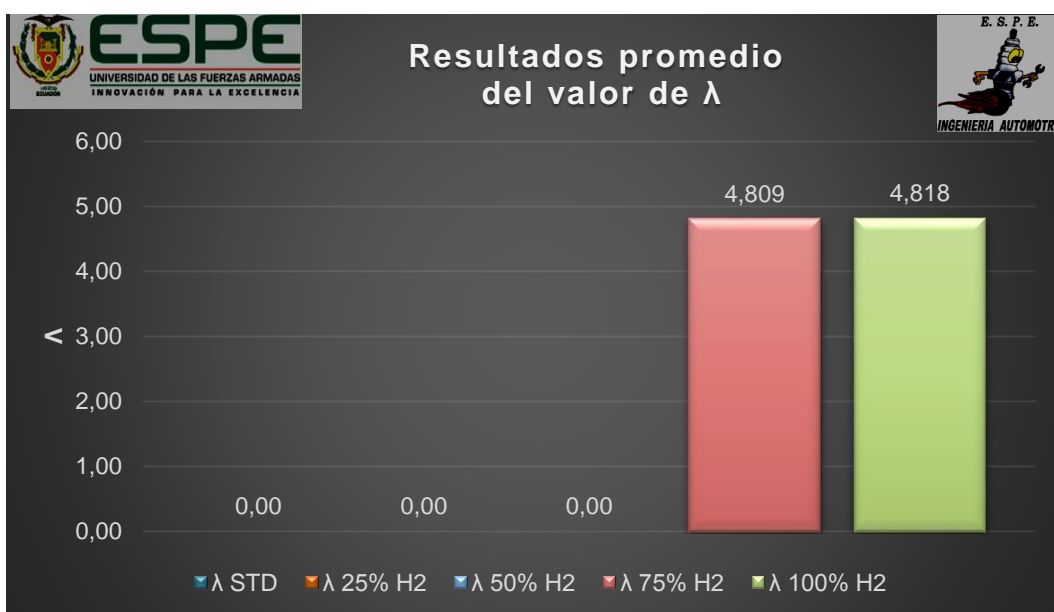


Figura 115. Resultados promedio del valor de λ

El valor de lambda se mantuvo en 0 cuando el motor estaba en condición estándar, 25% y 50% de generación de hidrógeno. En las condiciones de 75% y 100% de hidrógeno el valor lambda se visualizó a partir de las 3000rpm en 4.809 en la condición de 75% y 4.818% en la condición de 100% siendo este el valor más alto.

4.2.4 Pruebas de consumo de combustible

a) Datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible americana FTP-75 y prueba complementaria SFTP-SC03

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo FTP-75 con el motor trabajando de manera estándar “STD” se registran en la tabla 23, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 23.

Datos obtenidos motor estándar protocolo FTP-75

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	181	82,78
120	1.47	2.37	0.2	0,76	41	65,98	189	87,22
240	2.93	4.72	0.34	1,29	47	75,64	189	87,22
360	4.28	6.89	0.51	1,93	44	70,81	185	85,00
480	5.8	9.33	0.63	2,38	44	70,81	185	85,00
600	7.07	11.38	0.75	2,84	33	53,11	187	86,11
720	8.29	13.34	0.91	3,44	37	59,55	190	87,78
840	9.94	16.00	1.11	4,20	51	82,08	190	87,78
930	10.93	17.59	1.24	4,69	27	43,45	189	87,22
955	11.04	17.77	1.25	4,73	12	19,31	187	86,11

En la figura 116 se presenta la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando de manera estándar “STD” donde se verifica que la velocidad no excede los 91,2 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde durante el tiempo de la prueba de 955 segundos (eje de las abscisas) existen aumentos y descensos de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una ruta de carretera donde se aprecia que el vehículo no se detiene y no mantiene una velocidad constante, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.



Figura 116. Protocolo FTP-75 motor estándar curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 117 con motor trabajando de manera estándar “STD” donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia 17,77 kilómetros regido por el protocolo FTP-75 y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 4,73 litros, constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico

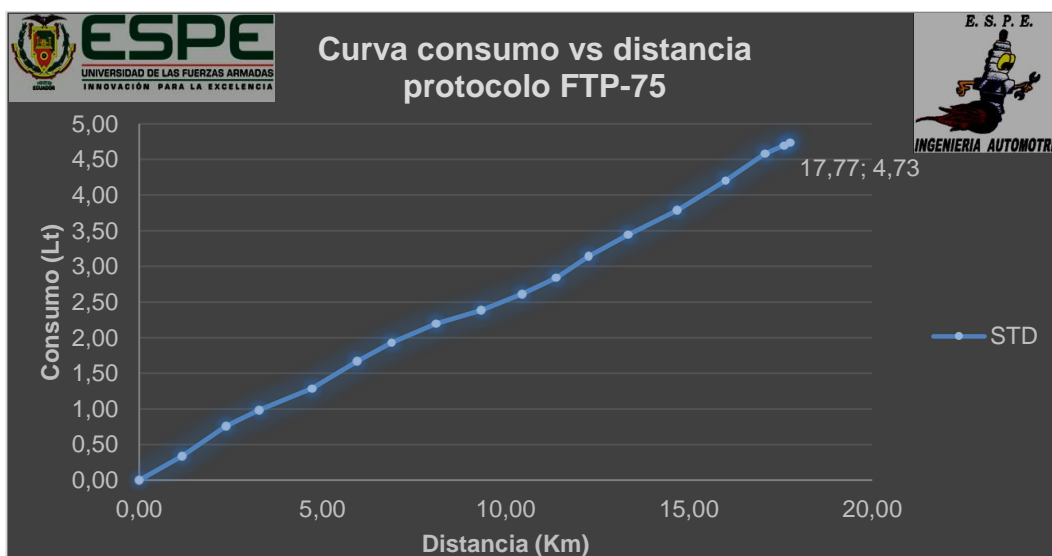


Figura 117. Protocolo FTP-75 motor estándar curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la prueba complementaria de consumo de combustible SFTP-SC03 con el motor trabajando de manera estándar “STD” y el aire acondicionado del vehículo prendido se registran en la tabla 24, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 24.

Datos obtenidos con motor estándar prueba complementaria SFTP-SC03

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	187	86.11
30	0.23	0.37	0.04	0,15	45	72,42	189	87.22
60	0.58	0.93	0.08	0,30	44	70,81	189	87.22
90	0.97	1.56	0.13	0,49	50	80,47	187	86.11
120	1.37	2.20	0.16	0,61	43	69,20	185	85.00
150	1.79	2.88	0.19	0,72	47	75,64	189	87.22
180	2.16	3.48	0.24	0,91	44	70,81	187	86.11
210	2.54	4.09	0.29	1,10	43	69,20	189	87.22
240	2.92	4.70	0.33	1,25	48	77,25	187	86.11
270	3.3	5.31	0.38	1,44	48	77,25	187	86.11
300	3.52	5.66	0.41	1,55	0	0,00	185	85.00
330	3.6	5.79	0.43	1,63	8	12,87	187	86.11

Con motor trabajando de manera estándar “STD” en la figura 118 se presenta la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 88,2 Km/h regido por la prueba SFTP-SC03, donde durante el tiempo de la prueba de 330 segundos (eje de las abscisas) existen pendientes positivas y negativas de velocidad (eje de las ordenadas) siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo muy común donde se aprecia que el vehículo se detiene por una vez y la presencia de una velocidad constante es poco visible, terminando la prueba con velocidad baja simulando la llegada a un destino específico.

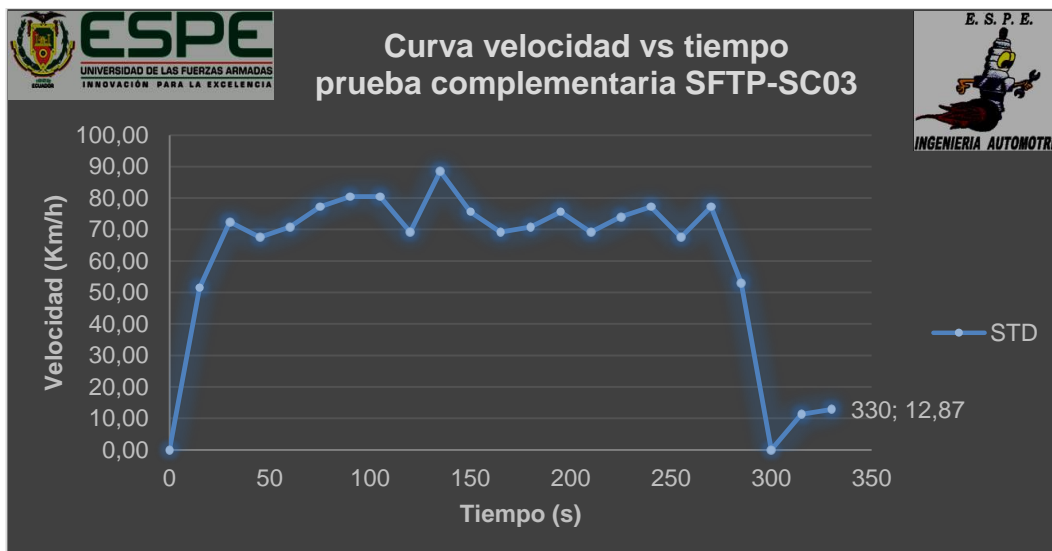


Figura 118. Prueba complementaria SFTP-SC03 motor estándar curva velocidad vs tiempo

En la figura 116 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando de manera estándar “STD” donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia recorrida de 5,79 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,63 litros, de tal manera el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

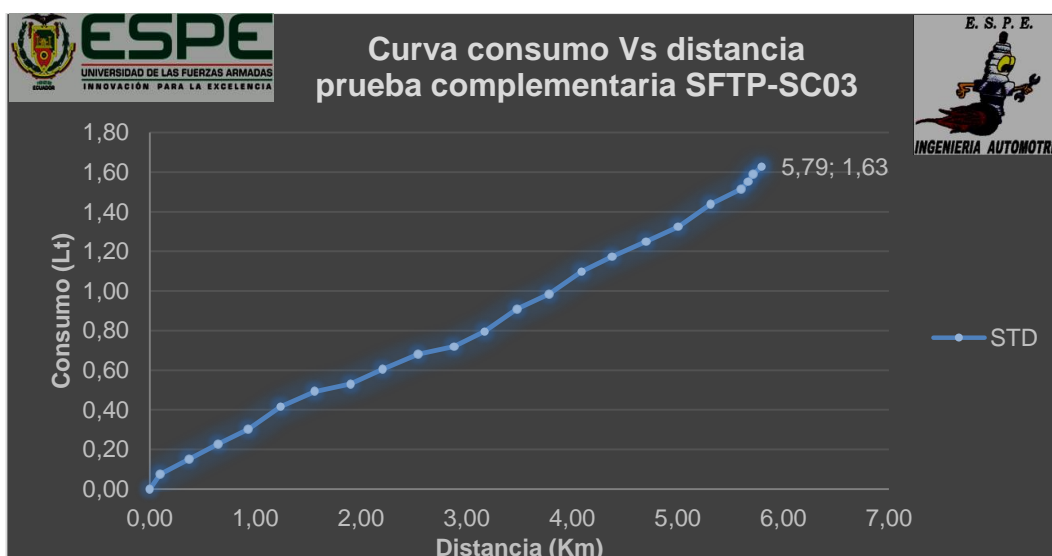


Figura 119. Prueba complementaria SFTP-SC03 motor estándar curva consumo vs distancia

- Inyección del 25% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo FTP-75 con inyección del 25% de hidrógeno se registran en la tabla 25, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 25.

Datos obtenidos con inyección de 25% de hidrógeno protocolo FTP-75

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	181	82,78
120	1.54	2.48	0.16	0,61	44	70,81	190	87,78
240	2.88	4.63	0.3	1,14	47	75,64	189	87,22
360	4.45	7.16	0.43	1,63	46	74,03	187	86,11
480	5.88	9.46	0.56	2,12	31	49,89	190	87,78
600	7.24	11.65	0.71	2,69	29	46,67	185	85,00
720	8.4	13.52	0.87	3,29	40	64,37	187	86,11
840	9.93	15.98	1.03	3,90	50	80,47	189	87,22
900	10.79	17.36	1.13	4,28	51	82,08	192	87,78
923	11.04	17.77	1.15	4,35	35	56,33	190	82,78

Al inyectar el 25% de hidrógeno se presenta la curva de velocidad vs tiempo en la figura 120 donde se verifica que la velocidad no excede los 91,2 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde durante el tiempo de la prueba de 923 segundos (eje de las abscisas) existen pendientes ascendentes y descendentes de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común e irregular de manejo en una ruta de carretera donde se puede apreciar que la velocidad constante no existe al igual que en ningún momento se detiene el vehículo, terminando la prueba con una pendiente negativa de velocidad llegando a un destino específico.

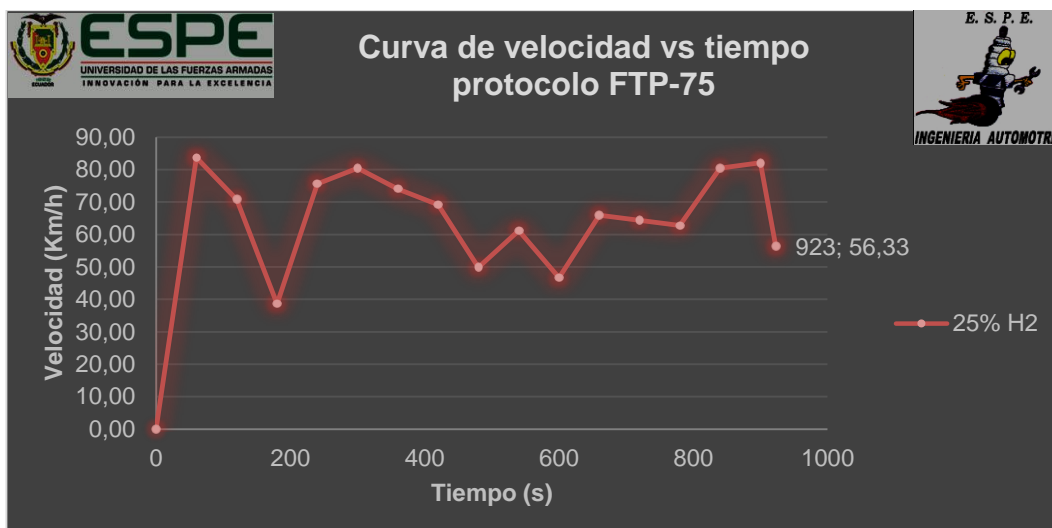


Figura 120. Protocolo FTP-75 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con una inyección del 25% de hidrógeno, en la figura 121 se presenta la curva de consumo vs distancia donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia recorrida de 17,77 kilómetros en base por el protocolo FTP-75 y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 4,35 litros, como se aprecia en la curva el consumo aumenta irregularmente a medida que se cumple la llegada al destino específico.

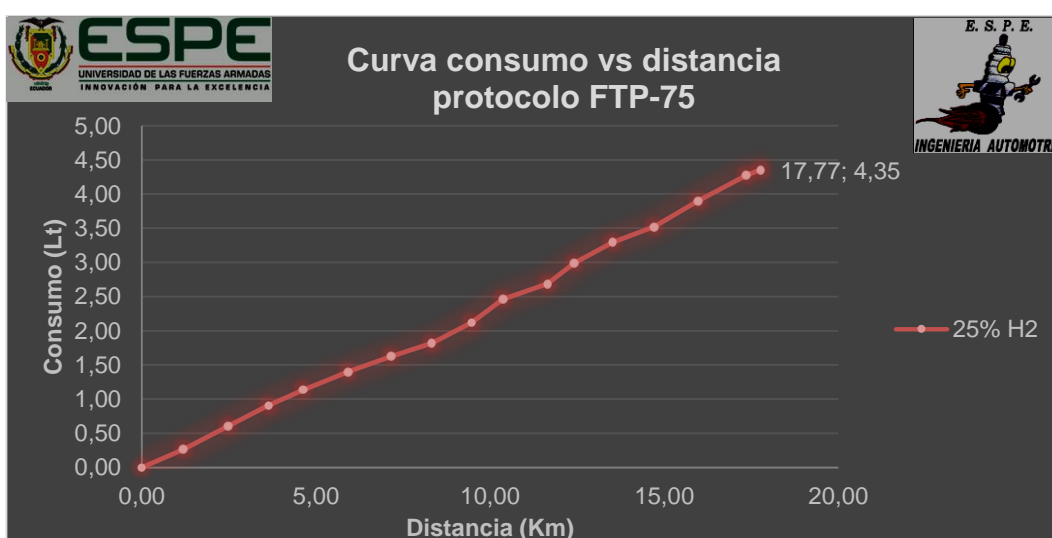


Figura 121. Protocolo FTP-75 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la prueba complementaria de consumo de combustible SFTP-SC03 con inyección del 25% de hidrógeno y el aire acondicionado del vehículo prendido se registran en la tabla 26, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 26.

Datos obtenidos con inyección a 25% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	187	86.11
30	0.24	0.39	0.06	0,23	40	64,37	192	88.89
60	0.64	1.03	0.11	0,42	42	67,59	192	88.89
90	1.01	1.63	0.16	0,61	40	64,37	194	90.00
120	1.42	2.29	0.19	0,72	48	77,25	189	87.22
150	1.84	2.96	0.22	0,83	54	86,90	185	85.00
180	2.28	3.67	0.24	0,91	52	83,69	189	87.22
210	2.72	4.38	0.29	1,10	52	83,69	187	86.11
240	3.13	5.04	0.34	1,29	43	69,20	189	87.22
270	3.46	5.57	0.37	1,40	47	75,64	189	87.22
283	3.6	5.79	0.38	1,44	31	49,89	189	87.22

La curva de la velocidad vs tiempo con inyección del 25% de hidrógeno se presenta en la figura 122, donde se verifica que la velocidad no excede los 88,2 Km/h regido por la prueba SFTP-SC03, donde durante el tiempo de la prueba de 283 segundos (eje de las abscisas) se aprecia picos bajos y altos de velocidad (eje de las ordenadas) representando una condición de manejo en una ruta de carretera donde se aprecia que el vehículo no adquiere un estado de reposo y no existe una velocidad constante, la prueba termina con una disminución de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

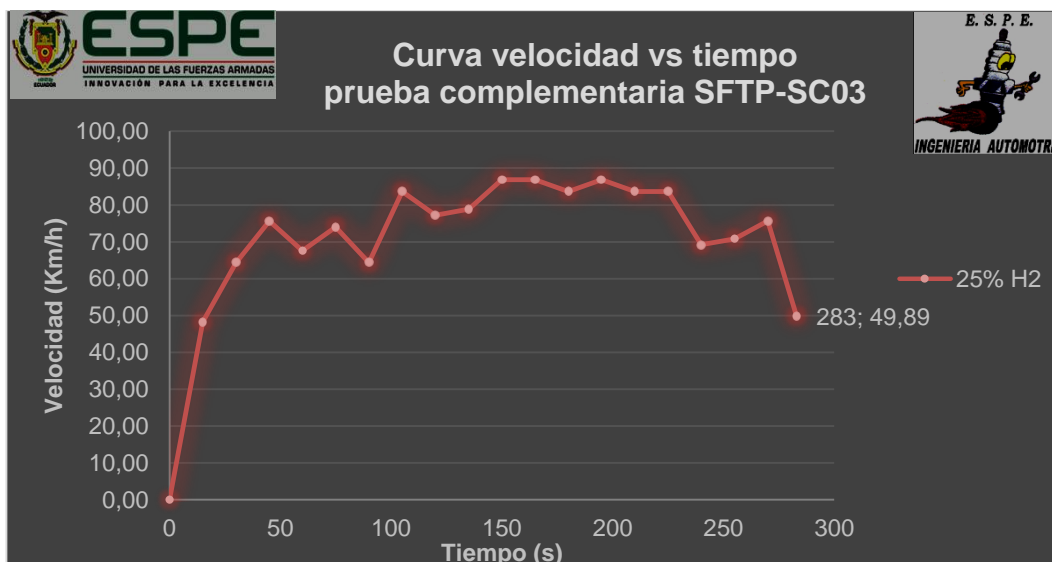


Figura 122. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

En la figura 123 se presenta la curva de consumo vs distancia con inyección del 25% de hidrógeno, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde la distancia esta verificada en 5,79 kilómetros y el consumo de combustible en dicha distancia es de 1,44 litros, en conclusión el consumo crece de manera irregular según la llegada al destino específico se cumple.

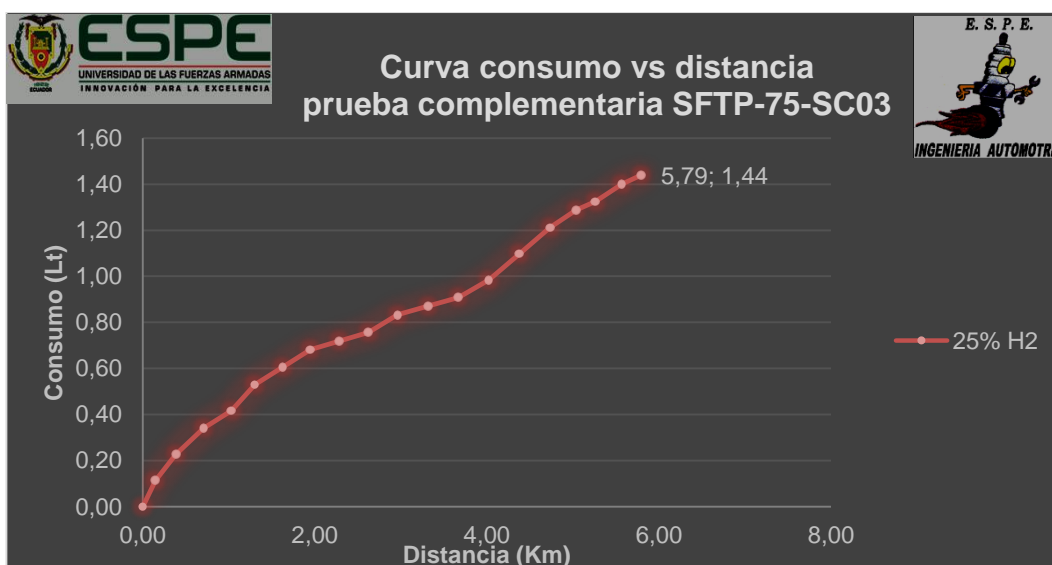


Figura 123. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 50% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo FTP-75 con inyección del 50% de hidrógeno se registran en la tabla 26, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 27

Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno protocolo FTP-75

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	181	82.78
120	1.49	2.40	0.18	0.68	38	61,15	190	87.78
240	2.79	4.49	0.28	1.06	47	75,64	183	83.89
360	4.29	6.90	0.39	1.48	45	72,42	185	85.00
480	5.69	9.16	0.54	2.04	28	45,06	187	86.11
600	6.87	11.06	0.66	2.50	40	64,37	189	87.22
720	8.35	13.44	0.82	3.10	50	80,47	189	87.22
840	9.76	15.71	0.96	3.63	39	62,76	189	87.22
960	11.04	17.77	1.13	4.28	19	30,58	190	87.78

Con una inyección del 50% de hidrógeno en la figura 121 se presenta la curva de velocidad vs tiempo, donde se verifica que la velocidad no excede los 91,2 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde durante el tiempo de la prueba de 960 segundos (eje de las abscisas) existe una variación de velocidad la cual baja y sube (eje de las ordenadas) representando una conducción común en una ruta de carretera, recalcando que el vehículo no adquiere velocidad de 0 Km/h, la prueba termina con la llegada al destino específico con una velocidad descendente.

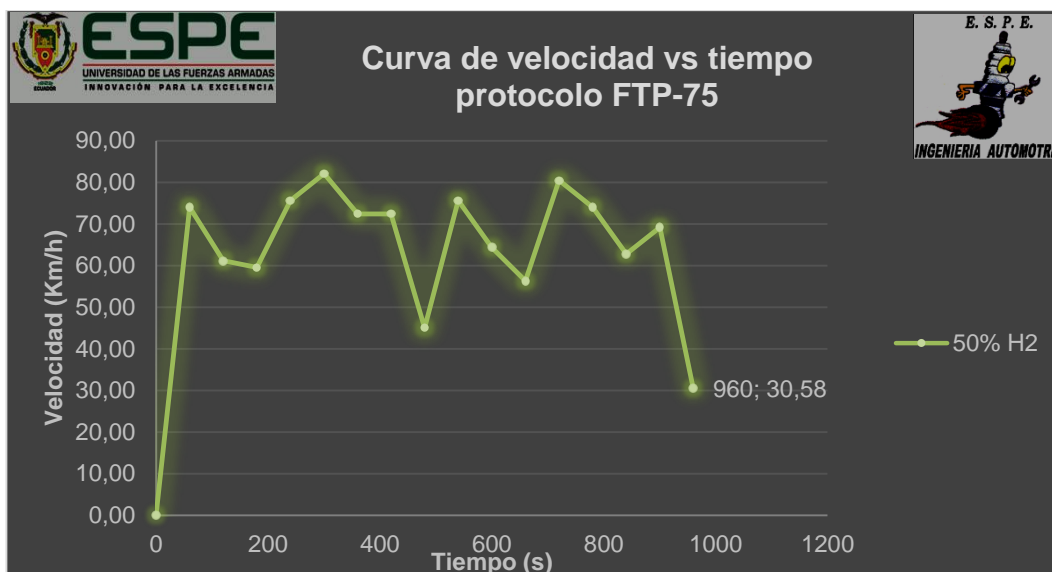


Figura 124. Protocolo FTP-75 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva presentada en la figura 125 de consumo vs distancia con del 50% de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia 17,77 kilómetros regido por el protocolo FTP-75 y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia es de 4,28 litros, constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

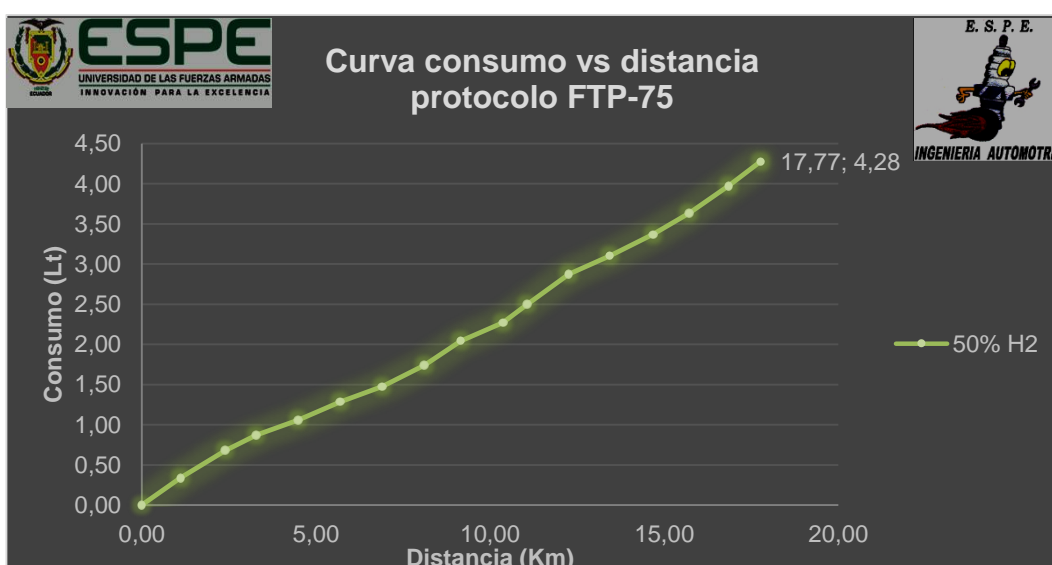


Figura 125. Protocolo FTP-75 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la prueba complementaria de consumo de combustible SFTP-SC03 con inyección del 50% de hidrógeno y el aire acondicionado del vehículo prendido se registran en la tabla 28, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 28

Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0,00	0	0.00	0	0,00	189	87.22
30	0.18	0,29	0.04	0.15	32	51,50	190	87.78
60	0.54	0,87	0.08	0.30	49	78,86	190	87.78
90	0.91	1,46	0.1	0.38	42	67,59	185	85.00
120	1.33	2,14	0.13	0.49	52	83,69	187	86.11
150	1.76	2,83	0.15	0.57	54	86,90	185	85.00
180	2.18	3,51	0.2	0.76	47	75,64	187	86.11
210	2.53	4,07	0.24	0.91	24	38,62	189	87.22
240	2.78	4,47	0.26	0.98	43	69,20	189	87.22
270	3.13	5,04	0.29	1.10	46	74,03	187	86.11
317	3.6	5,79	0.33	1.25	20	32,19	185	85.00

La curva velocidad vs tiempo presentada en la figura 126 con inyección del 50% de hidrógeno, donde se verifica que la velocidad no excede los 88,2 Km/h regido por la prueba SFTP-SC03, donde durante el tiempo de la prueba de 317 segundos (eje de las abscisas) donde existen variación de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una ruta de carretera en la cual se aprecia velocidades altas y bajas sin detener el vehículo y una velocidad constante poco visible, terminando la prueba con una pendiente negativa de velocidad llegando a un destino específico.

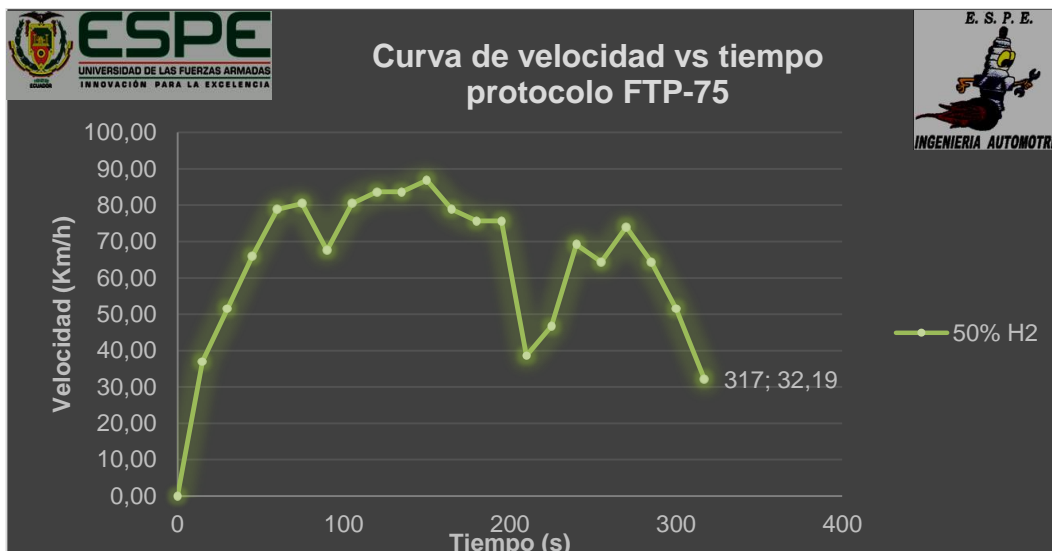


Figura 126. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva de consumo vs distancia con inyección del 50% de hidrógeno se presenta en la figura 124, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia de 5,79 kilómetros y el consumo de combustible en dicha distancia se lo registro de 1,25 litros, donde se verifica un consumo creciente irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

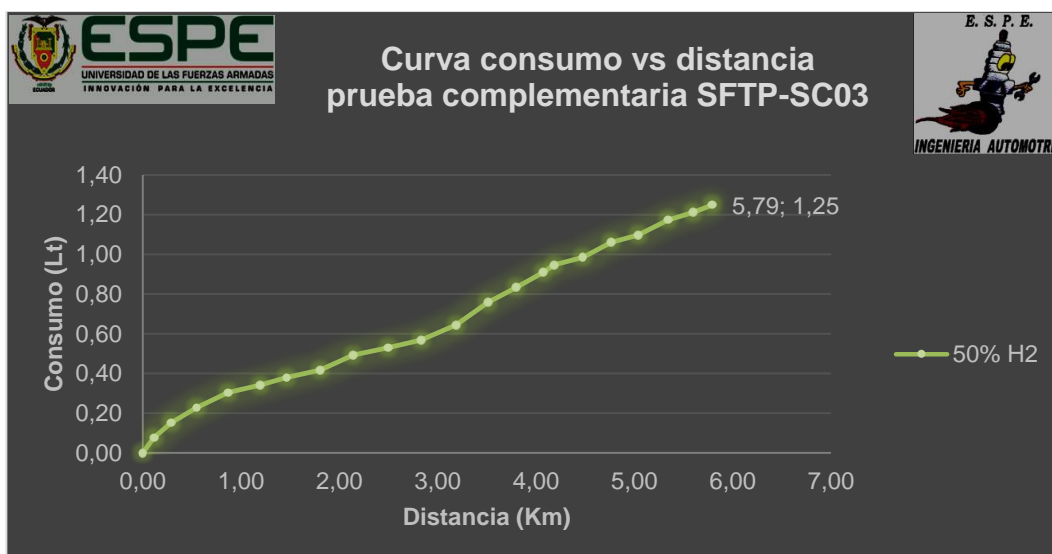


Figura 127. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 75% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo FTP-75 con inyección del 75% de hidrógeno se registran en la tabla 29, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 29.

Datos obtenidos con inyección de 75% de hidrógeno protocolo FTP-75

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	185	85.00
120	1.42	2.29	0.18	0.68	40	64,37	190	87.78
240	2.36	3.80	0.25	0.95	40	64,37	185	85.00
360	3.65	5.87	0.35	1.32	39	62,76	185	85.00
480	4.99	8.03	0.48	1.82	45	72,42	187	86.11
600	6.44	10.36	0.62	2.35	52	83,69	187	86.11
720	7.59	12.21	0.77	2.91	31	49,89	190	87.78
840	8.99	14.47	0.89	3.37	52	83,69	190	87.78
960	10.46	16.83	1.06	4.01	25	40,23	189	87.22
1030	11.04	17.77	1.14	4.32	17	27,36	190	87.78

En la figura 128 se presenta la curva de velocidad vs tiempo con la inyección del 75% de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 91,2 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde se registró un tiempo total de la prueba de 1030 segundos (eje de las abscisas), en la cual se presentan cambios bruscos de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una ruta de carretera donde se aprecia que el vehículo siempre se mantiene en movimiento y carece de una velocidad constante, terminando la prueba con una reducción de velocidad al destino específico.

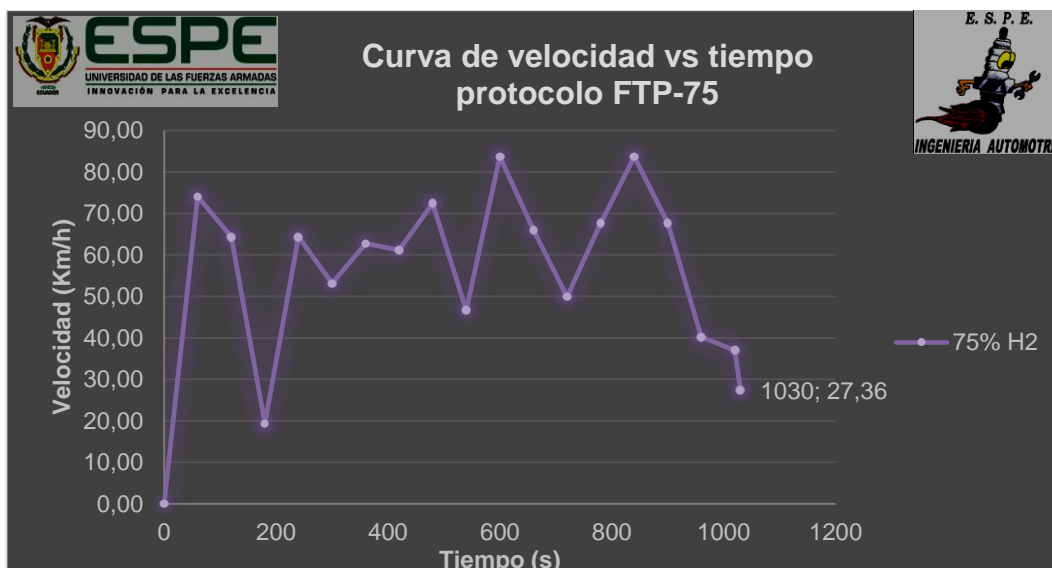


Figura 128. Protocolo FTP-75 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con la inyección del 75% de hidrógeno se presenta la curva de consumo vs distancia en la figura 129 donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se constata la distancia de 17,77 kilómetros regido por el protocolo FTP-75 y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 4,32 litros, constatando que el consumo aumenta irregularmente según el avance termina al destino específico.

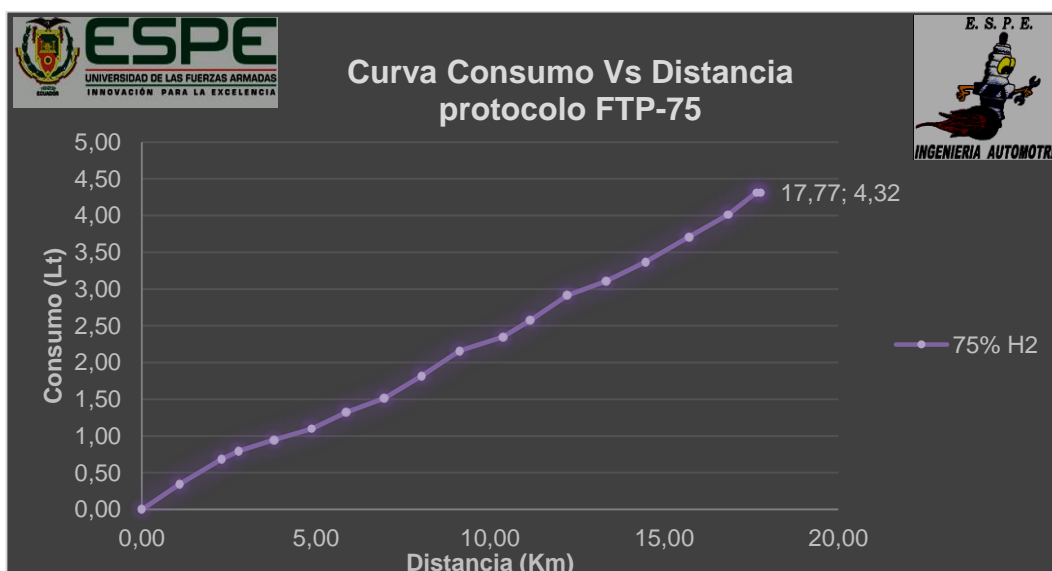


Figura 129. Protocolo FTP-75 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la prueba complementaria de consumo de combustible SFTP-SC03 con inyección del 75% de hidrógeno y el aire acondicionado del vehículo prendido se registran en la tabla 30, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 30.

Datos obtenidos con inyección de 75% hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0,00	0	0.00	0	0,00	185	85.00
30	0.19	0,31	0.02	0.08	38	61,15	187	86.11
60	0.56	0,90	0.05	0.19	52	83,69	187	86.11
90	0.91	1,46	0.07	0.26	27	43,45	183	83.89
120	1.24	2,00	0.1	0.38	48	77,25	185	85.00
150	1.66	2,67	0.13	0.49	48	77,25	183	83.89
180	1.95	3,14	0.15	0.57	29	46,67	181	82.78
210	2.31	3,72	0.2	0.76	45	72,42	187	86.11
240	2.72	4,38	0.24	0.91	50	80,47	187	86.11
270	3.07	4,94	0.27	1.02	40	64,37	183	83.89
300	3.39	5,46	0.3	1.14	43	69,20	189	87.22
318	3.6	5,79	0.32	1.21	30	48,28	183	83.89

La curva de velocidad vs tiempo con inyección del 75% de hidrógeno se presenta en la figura 130, en la cual se demuestra que la velocidad no excede los 88,2 Km/h regido por la prueba SFTP-SC03, donde en el transcurso del tiempo de la prueba de 318 segundos (eje de las abscisas) se visualizan aumentos y descensos de velocidad (eje de las ordenadas) el cual se identifica un estilo común de conducción de carretera donde se aprecia que el vehículo no tiene un estado estático y carece de una velocidad constante, terminando la prueba reduciendo la velocidad simulando la llegada a un destino específico.

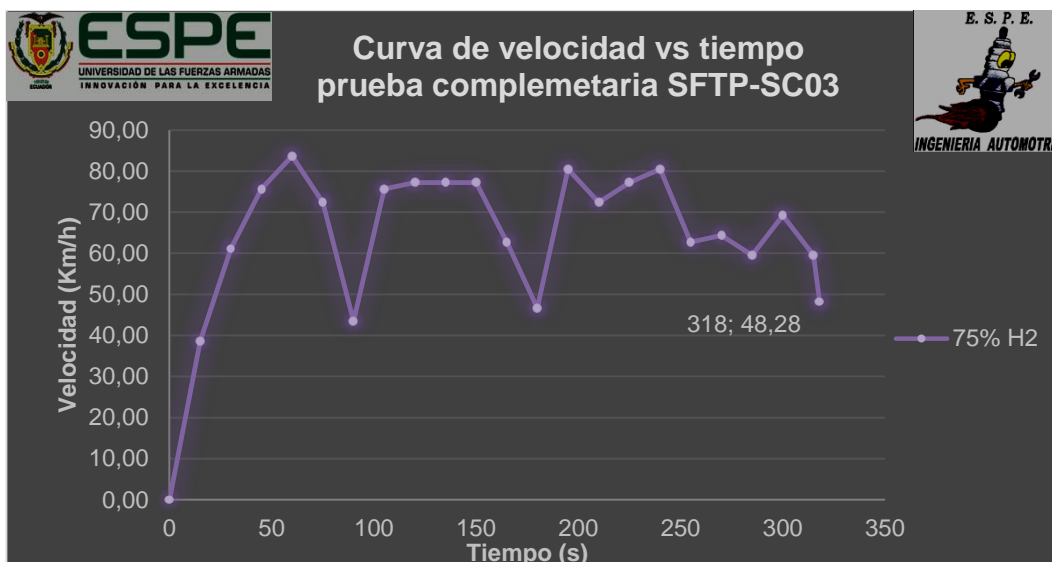


Figura 130. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con inyección del 75% de hidrógeno en la figura 128 se presenta la curva de consumo vs distancia, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se registra la distancia final de 5,79 kilómetros y con un consumo de combustible de 1,21 litros en dicha distancia y de tal manera el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada con el destino específico.

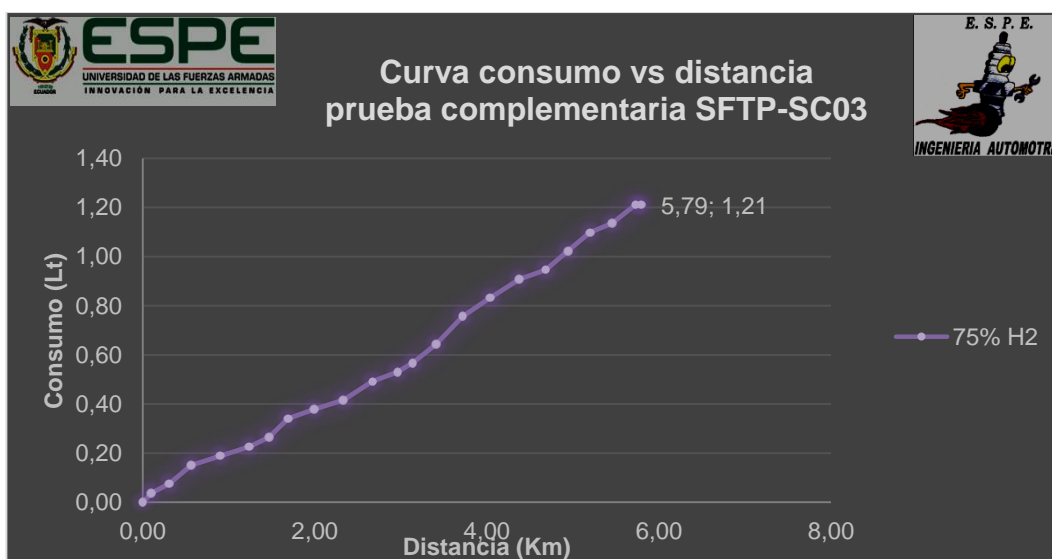


Figura 131. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 100% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo FTP-75 con inyección del 100% de hidrógeno se registran en la tabla 31, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 31.

Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno protocolo FTP-75

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	183	83.89
120	1.53	2.46	0.2	0.76	39	62,76	190	87.78
240	2.96	4.76	0.27	1.02	49	78,86	181	82.78
360	4.48	7.21	0.36	1.36	52	83,69	180	82.22
480	6.01	9.67	0.5	1.89	48	77,25	183	83.89
600	7.33	11.80	0.63	2.38	54	86,90	190	87.78
720	8.96	14.42	0.74	2.80	53	85,30	190	87.78
840	10.58	17.03	0.91	3.44	36	57,94	189	87.22
967	11.04	17.77	1.02	3.86	20	32,19	190	87.78

En la figura 132 se presenta la curva de velocidad vs tiempo con la inyección del 100% de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 91,2 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde durante el tiempo de la prueba de 967 segundos (eje de las abscisas) existen aumentos y descensos de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una ruta de carretera donde se aprecia que el vehículo no se detiene y una velocidad constante poco visible, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

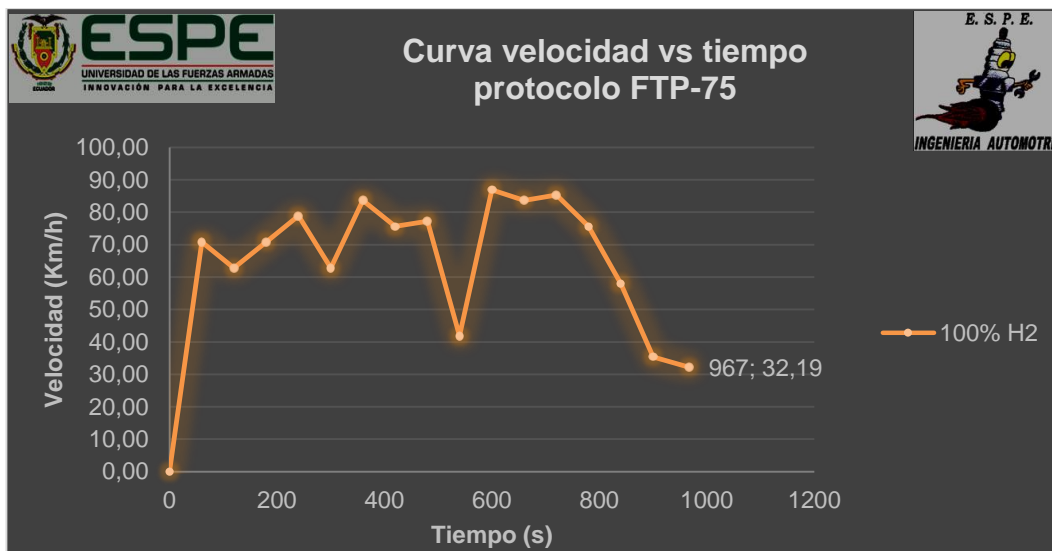


Figura 132. Protocolo FTP-75 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva de consumo vs distancia con la inyección del 100% de hidrógeno se presenta en la figura 133, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde el consumo registra 3,86 litros en una distancia total de 17,77 kilómetros regido por el protocolo FTP-75, de esta manera se verifica que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la ruta trazada.

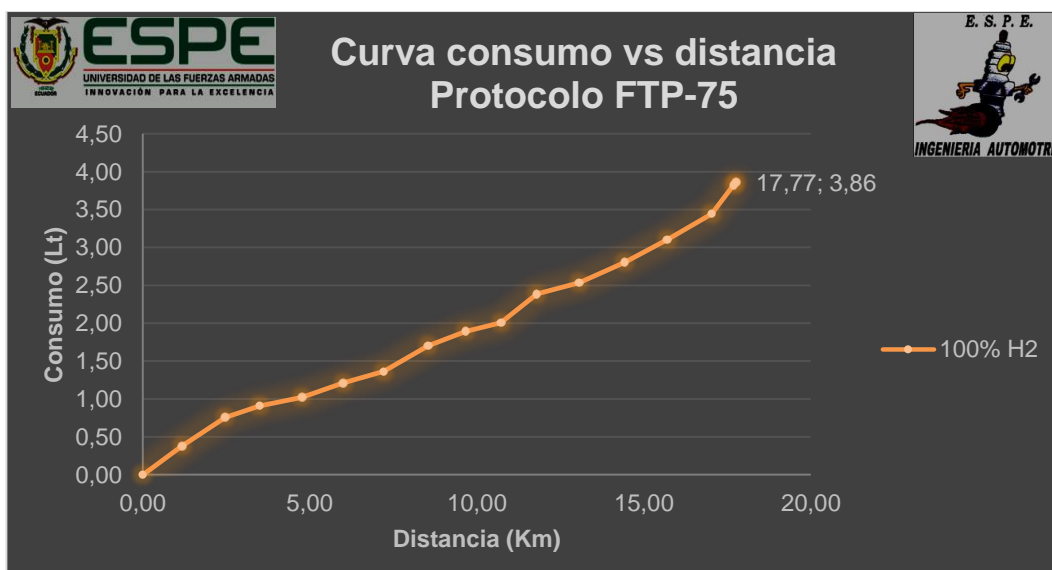


Figura 133. Protocolo FTP-75 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la prueba complementaria de consumo de combustible SFTP-SC03 con inyección del 100% de hidrógeno y el aire acondicionado del vehículo prendido se registran en la tabla 32, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 32.

Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno prueba complementaria SFTP-SC03

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	185	85.00
30	0.18	0.29	0.04	0.15	30	48,28	190	87.78
60	0.5	0.80	0.07	0.26	47	75,64	187	86.11
90	0.89	1.43	0.08	0.30	47	75,64	185	85.00
120	1.29	2.08	0.1	0.38	48	77,25	181	82.78
150	1.69	2.72	0.13	0.49	50	80,47	181	82.78
180	2.12	3.41	0.17	0.64	49	78,86	187	86.11
210	2.49	4.01	0.2	0.76	32	51,50	185	85.00
240	2.79	4.49	0.23	0.87	45	72,42	183	83.89
270	3.17	5.10	0.26	0.98	50	80,47	185	85.00
300	3.48	5.60	0.28	1.06	19	30,58	183	83.89
318	3.6	5.79	0.3	1.14	25	40,23	183	83.89

La curva de velocidad vs tiempo con inyección del 100% de hidrógeno se presenta en la figura 134, donde se verifica que la velocidad no excede los 88,2 Km/h regido por la prueba SFTP-SC03, presentando picos altos y bajos de velocidad (eje de las ordenadas) en un tiempo total de 318 segundos (eje de las abscisas) representando un estilo común de conducción para una ruta de carretera donde se aprecia la ausencia de velocidad constante y velocidades de 0 Km/h, terminando la prueba reduciendo la velocidad llegando a el destino específico.

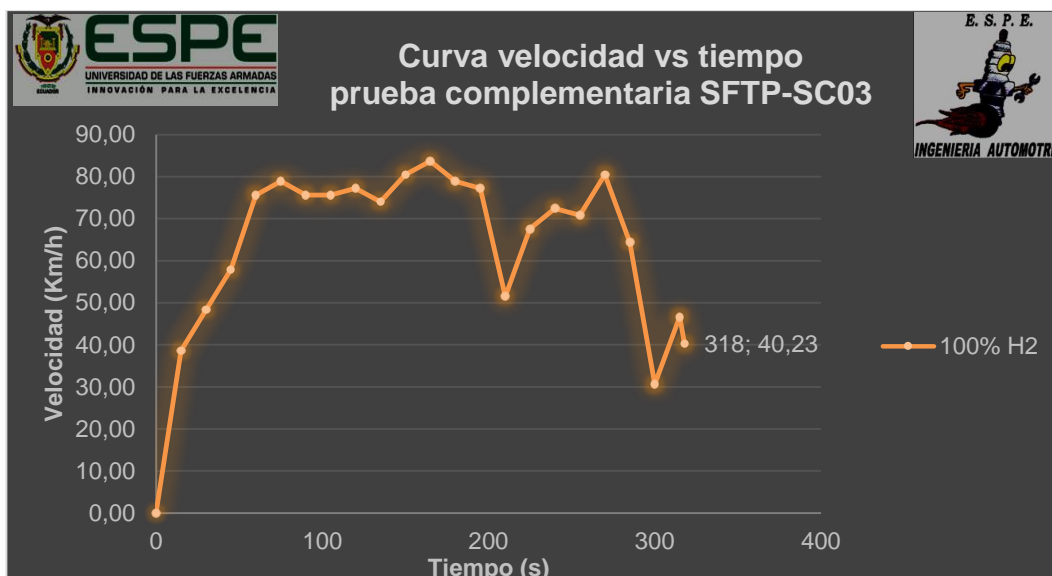


Figura 134. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con la inyección del 100% de hidrógeno en la figura 135 se presenta la curva consumo vs distancia, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se registró el consumo de 1,14 litros en una distancia de 5,79 kilómetros, de tal manera el consumo crece irregularmente hasta llegar al destino específico.

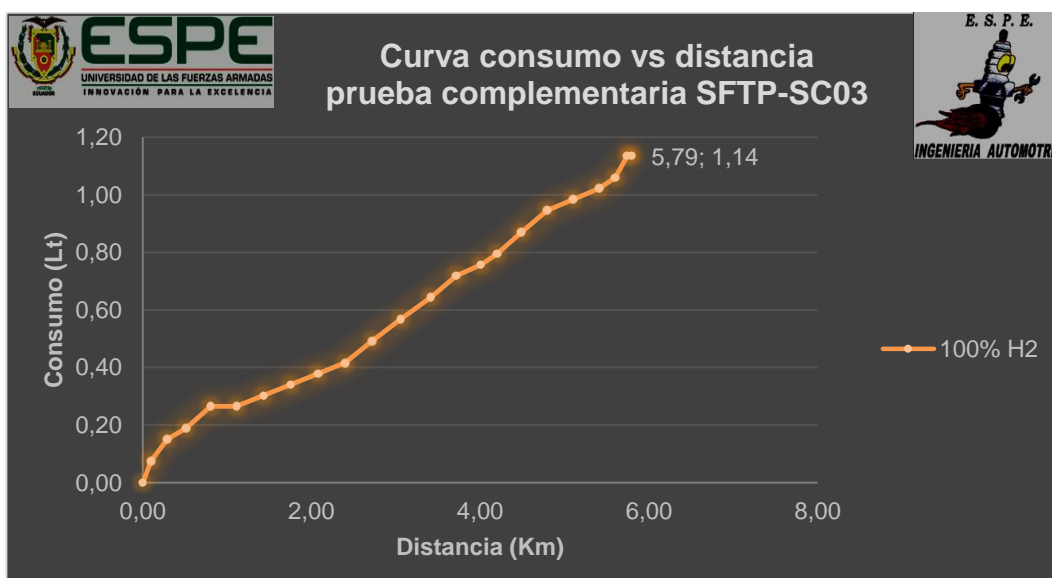


Figura 135. Prueba complementaria SFTP-SC03 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Resumen estadístico del protocolo FTP-75 y prueba complementaria SFTP-SC03

En la comparación de los resultados obtenidos con motor estándar y con inyección de 25%, 50% 75% y 100% de hidrógeno se analizaron de forma individual tres puntos importantes, el tiempo total en el que se realizó el protocolo de consumo de combustible, el consumo de combustible y la variación del mismo.

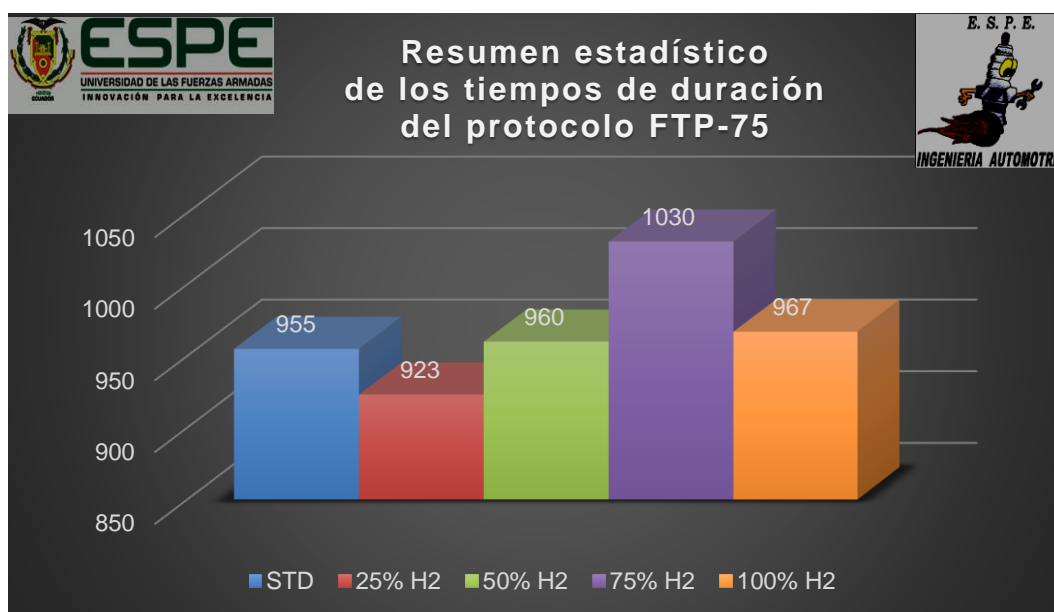


Figura 136. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo FTP-75

En la figura 136 se compara el tiempo total en segundos que se terminó la ruta asignada para el protocolo FTP-75 a diferentes condiciones. Tomando en cuenta que el tiempo máximo es el obtenido con motor estándar, el tiempo de la prueba con inyección del 25% de hidrógeno disminuye en un 3,35%, el tiempo de la prueba con inyección del 50% de hidrógeno aumenta en un 0,52%, el tiempo de la prueba con inyección del 75% de hidrógeno aumenta en un 7,85% y el tiempo de la prueba con inyección del 100% de hidrógeno aumenta en un 1,26%. Manteniendo el tiempo con una reducida variación para cada condición de prueba.

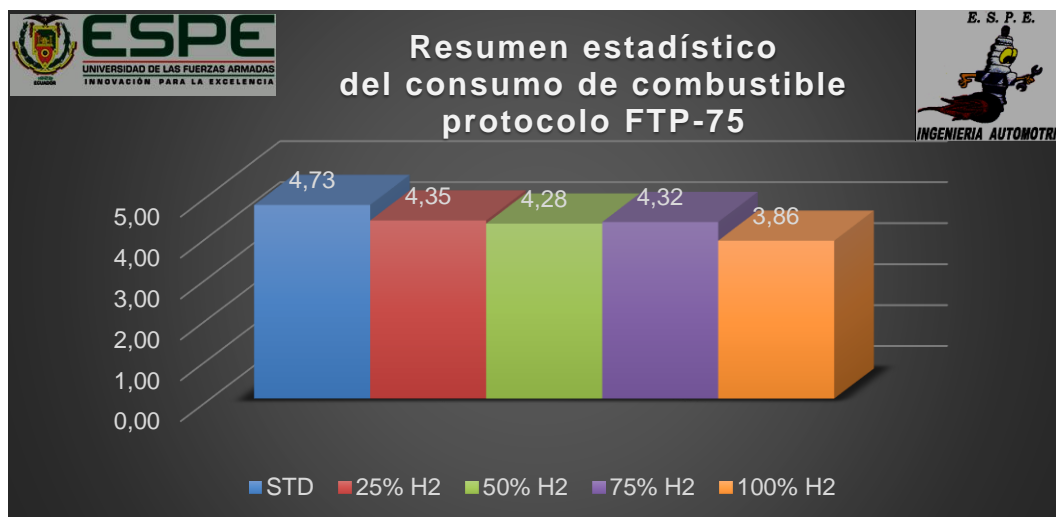


Figura 137. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo FTP-75

En la figura 137 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables con la inyección de hidrógeno, teniendo como la más alta la condición a motor estándar con 4,73 litros de consumo, seguidos de los valores de 4,35 litros con inyección del 25% de hidrógeno, 4,28 litros con inyección del 50% de hidrógeno, 4,32 litros con inyección del 75% de hidrógeno y el resultado más bajo y significativo obtenido es de 3,86 litros con inyección del 100% de hidrógeno existiendo una variación de 0,87 litros entre la más baja y alta.

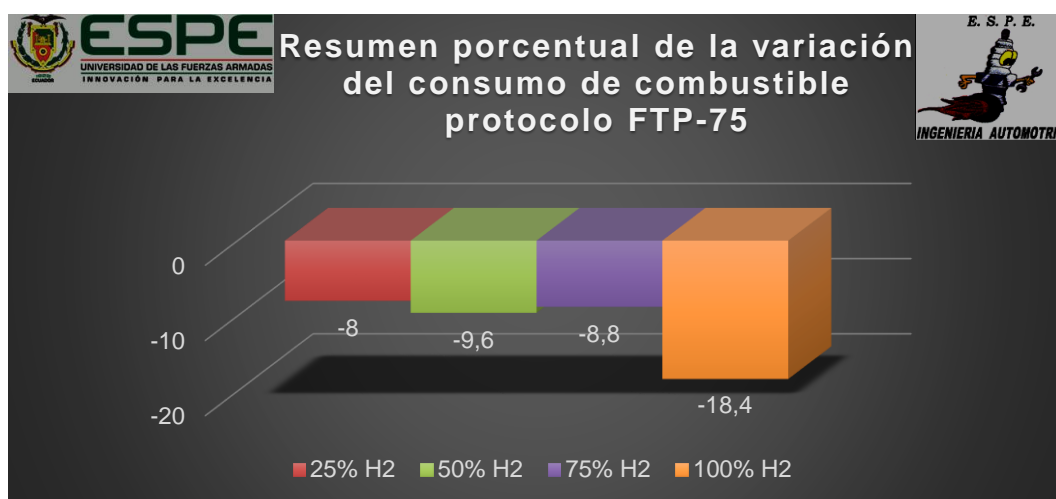


Figura 138. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo FTP-75

En la figura 138 se expone la variación porcentual que existe entre el consumo de combustible al trabajar con motor estándar y con la inyección de hidrógeno a diferentes proporciones, obteniendo una disminución del consumo de combustible en cada una de ellas, con la inyección de hidrógeno del 25% se obtuvo un ahorro del 8%, del 50% se obtuvo un ahorro del 9,6%, del 75% se obtuvo un ahorro del 8,8% y siendo la más destacada un ahorro del 18,4% con la inyección del 100% de hidrógeno.

Resumen estadístico de la prueba complementaria SFTP-SC03

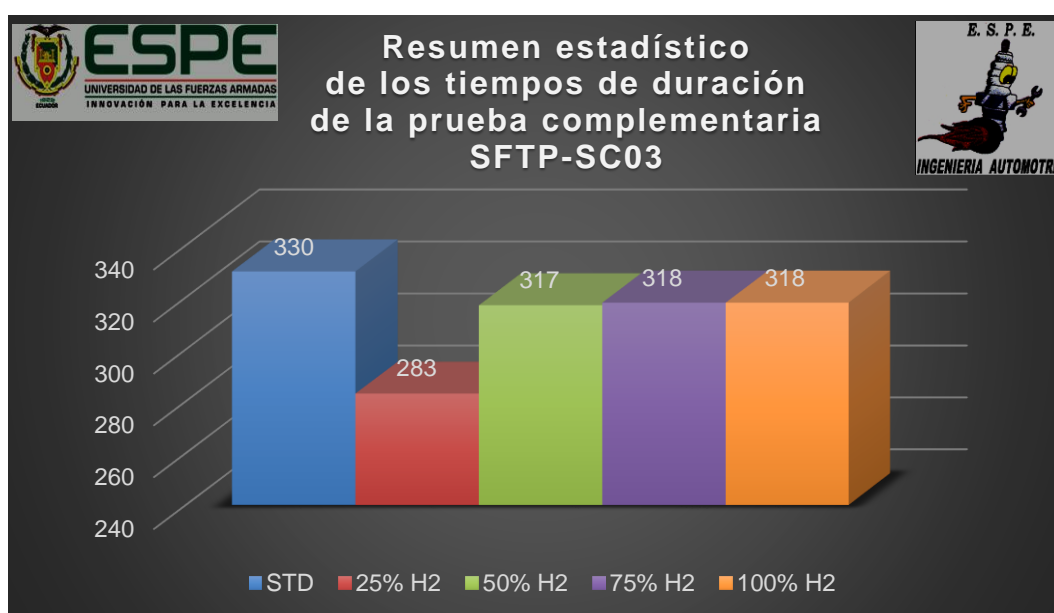


Figura 139. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo FTP-75

En la figura 139 se compara el tiempo total en segundos que se terminó la ruta asignada para la prueba complementaria SFTP-SC03 a diferentes condiciones. Tomando en cuenta que el tiempo máximo es el obtenido con motor estándar, el tiempo de la prueba con inyección del 25% de hidrógeno disminuye en un 14,35%, el tiempo de la prueba con inyección del 50% de hidrógeno aumenta en un 3,94%, el tiempo de la prueba con inyección del 75% de hidrógeno aumenta en un 3,64% y el tiempo de la prueba con inyección del 100% de hidrógeno aumenta en un 3,64%. Manteniendo el tiempo con una reducida variación para cada condición de prueba.

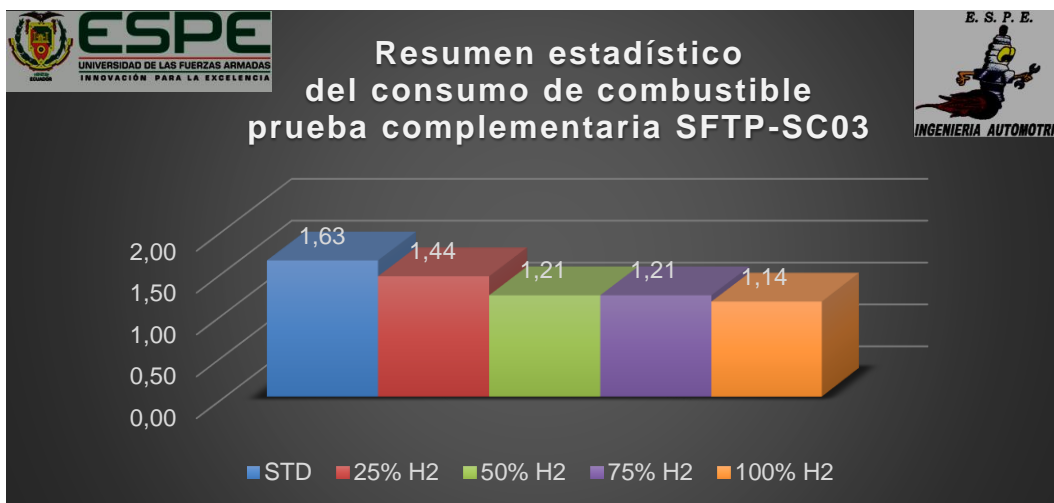


Figura 140. Resumen estadístico del consumo de combustible prueba complementaria SFTP-SC03

En la figura 140 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables con la inyección de hidrógeno, teniendo como la más alta la condición a motor estándar con 1,63 litros de consumo, seguidos de los valores de 1,44 litros con inyección del 25% de hidrógeno, 1,21 litros con inyección del 50% de hidrógeno, 1,21 litros con inyección del 75% de hidrógeno y el resultado más bajo y significativo obtenido es de 1,14 litros con inyección del 100% de hidrógeno existiendo una variación de 0,49 litros entre la más baja y alta.

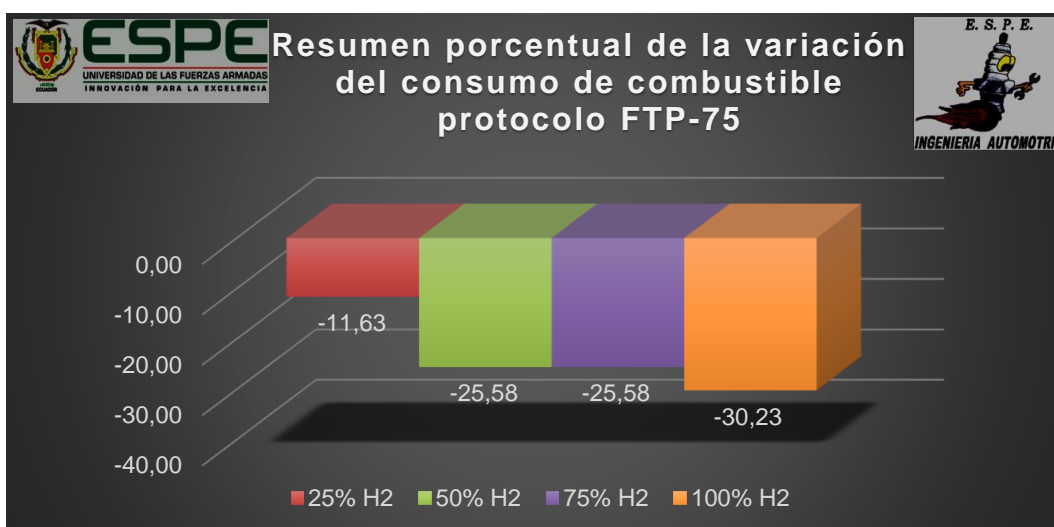


Figura 141. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible prueba complementaria SFTP-SC03

En la figura 141 se expone la variación porcentual que existe entre el consumo de combustible al trabajar con motor estándar y con la inyección de hidrógeno a diferentes proporciones, obteniendo una disminución del consumo de combustible en cada una de ellas, con la inyección de hidrógeno del 25% se obtuvo un ahorro del 11,63%, del 50% se obtuvo un ahorro del 25,58%, del 75% se obtuvo un ahorro del 25,58% y siendo la más destacada un ahorro del 30,23% con la inyección del 100% de hidrógeno.

b) Datos obtenidos prueba de consumo de combustible americana NYCC (New York City Cycle)

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo NYCC con el motor trabajando de manera estándar “STD” se registran en la tabla 33, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 33.

Datos obtenidos motor estándar protocolo NYCC

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.07	0.11	0.02	0.08	19	30.58	183	83.89
40	0.19	0.31	0.05	0.19	22	35.41	185	85.00
60	0.31	0.50	0.06	0.23	21	33.80	185	85.00
80	0.42	0.68	0.08	0.30	8	12.87	185	85.00
100	0.43	0.69	0.08	0.30	0	0.00	187	86.11
120	0.46	0.74	0.09	0.34	13	20.92	185	85.00
140	0.51	0.82	0.11	0.42	11	17.70	185	85.00
160	0.63	1.01	0.13	0.49	23	37.01	187	86.11
180	0.74	1.19	0.14	0.53	22	35.41	189	87.22
200	0.87	1.40	0.16	0.61	25	40.23	185	85.00
220	1	1.61	0.18	0.68	24	38.62	185	85.00
240	1.09	1.75	0.19	0.72	14	22.53	185	85.00
260	1.18	1.90	0.21	0.79	12	19.31	185	85.00

En la figura 142 se presenta la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando de manera estándar “STD” donde se verifica que la velocidad no excede los 44,6 Km/h regido por el protocolo NYCC, donde durante el tiempo de la prueba de 260 segundos (eje de las abscisas) existen variaciones de baja velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo de conducción urbano con tránsito promedio donde se aprecia que el vehículo se detiene al menos por dos veces, no mantiene una velocidad constante y un avance a velocidades bajas terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

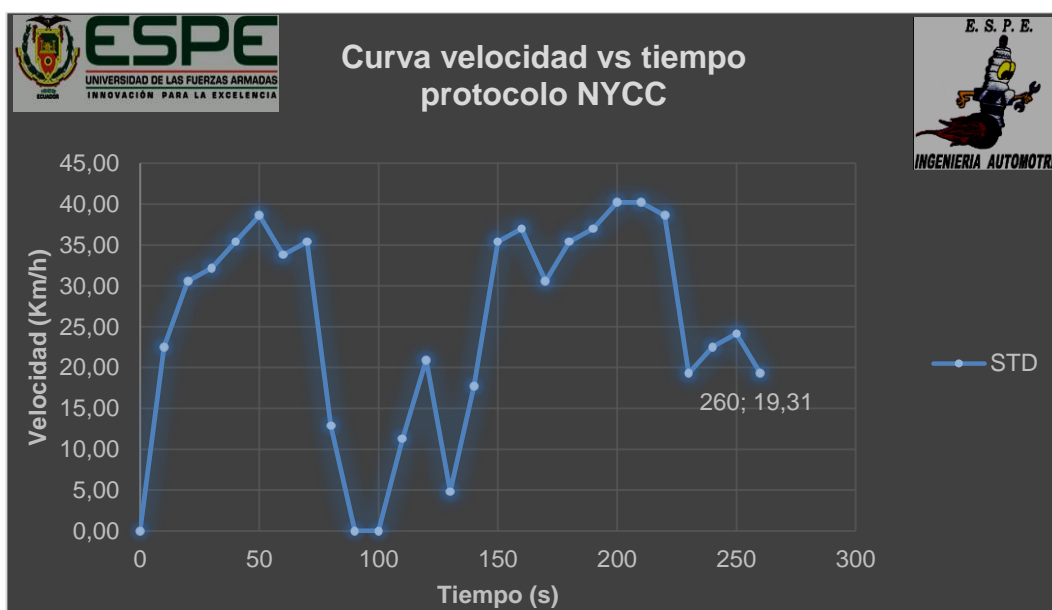


Figura 142. Protocolo NYCC motor estándar curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 143 con motor trabajando de manera estándar “STD” donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia 1,9 kilómetros regido por el protocolo NYCC y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 0,79 litros, constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

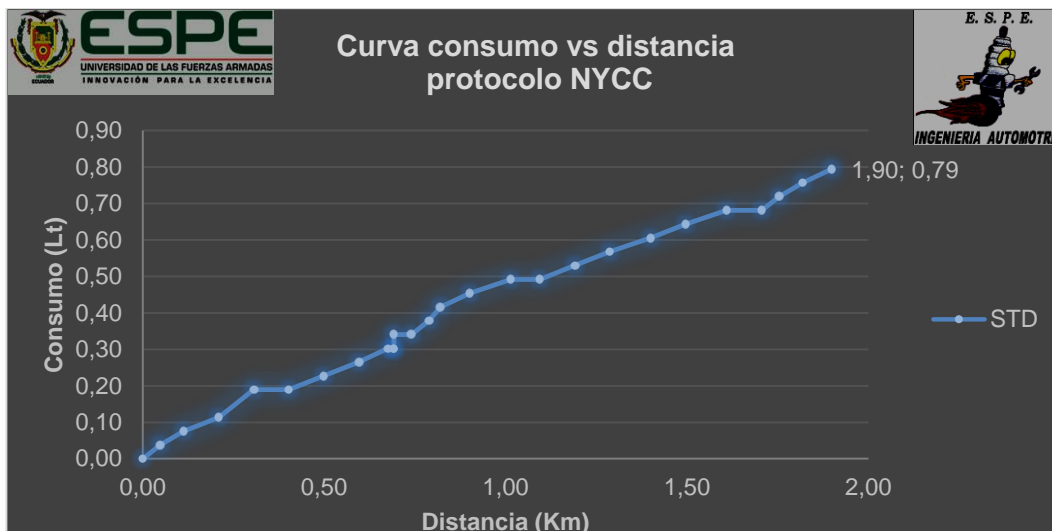


Figura 143. Protocolo NYCC motor estándar curva consumo vs distancia

- Inyección del 25% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo NYCC con inyección del 25% de hidrógeno se registran en la tabla 34, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 34.

Datos obtenidos con inyección 25% de hidrógeno protocolo NYCC

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.1	0.16	0.02	0.08	28	45.06	185	85.00
40	0.25	0.40	0.03	0.11	26	41.84	185	85.00
60	0.39	0.63	0.05	0.19	26	41.84	185	85.00
80	0.52	0.84	0.07	0.26	23	37.01	187	86.11
100	0.61	0.98	0.08	0.30	3	4.83	187	86.11
120	0.65	1.05	0.09	0.34	19	30.58	183	83.89
140	0.78	1.26	0.11	0.42	25	40.23	185	85.00
160	0.92	1.48	0.13	0.49	26	41.84	187	86.11

CONTINÚA



180	1.06	1.71	0.15	0.57	26	41.84	189	87.22
200	1.16	1.87	0.17	0.64	11	17.70	185	85.00
206	1.18	1.90	0.17	0.64	7	11.27	185	85.00

Al inyectar el 25% de hidrógeno se presenta la curva de velocidad vs tiempo en la figura 144 donde se verifica que la velocidad no excede los 44,6 Km/h regido por el protocolo NYCC, donde se registra un tiempo total de la prueba de 206 segundos (eje de las abscisas), el comportamiento de la velocidad es regular (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una ruta de ciudad donde se puede apreciar un ascenso de velocidad de 44 Km/h y después la velocidad desciende hasta 4 Km/h y nuevamente asciende hasta 43,45 Km/h después terminando la prueba con una pendiente negativa de velocidad llegando al destino específico.

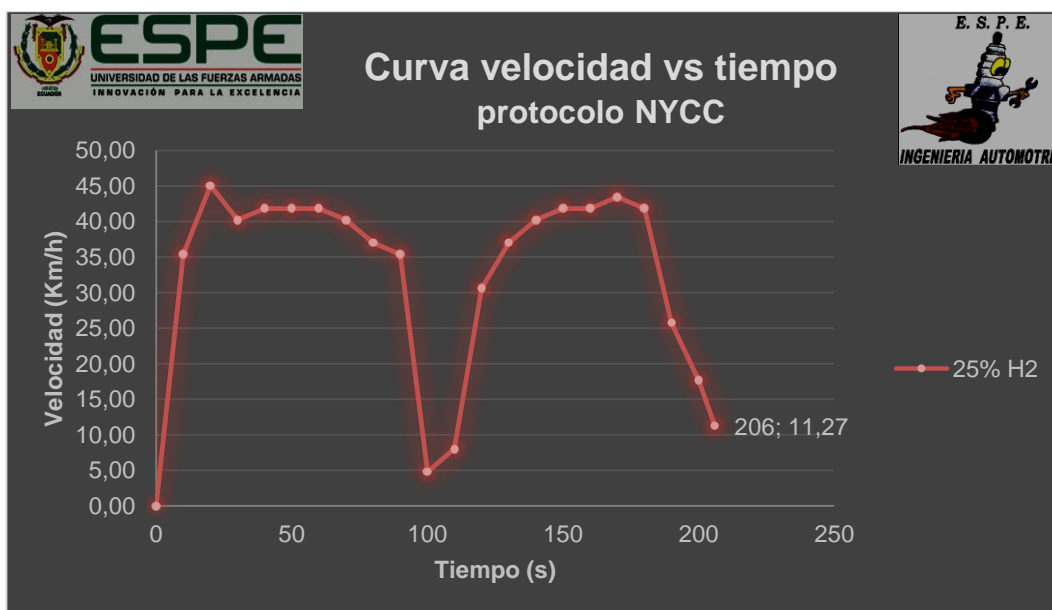


Figura 144. Protocolo NYCC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con una inyección del 25% de hidrógeno, en la figura 145 se presenta la curva de consumo vs distancia donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia recorrida de 1,9 kilómetros en base por el protocolo NYCC y el consumo de combustible

obtenido en dicha distancia de 0,64 litros, como se aprecia en la curva el consumo aumenta irregularmente a medida que termina la ruta establecida.

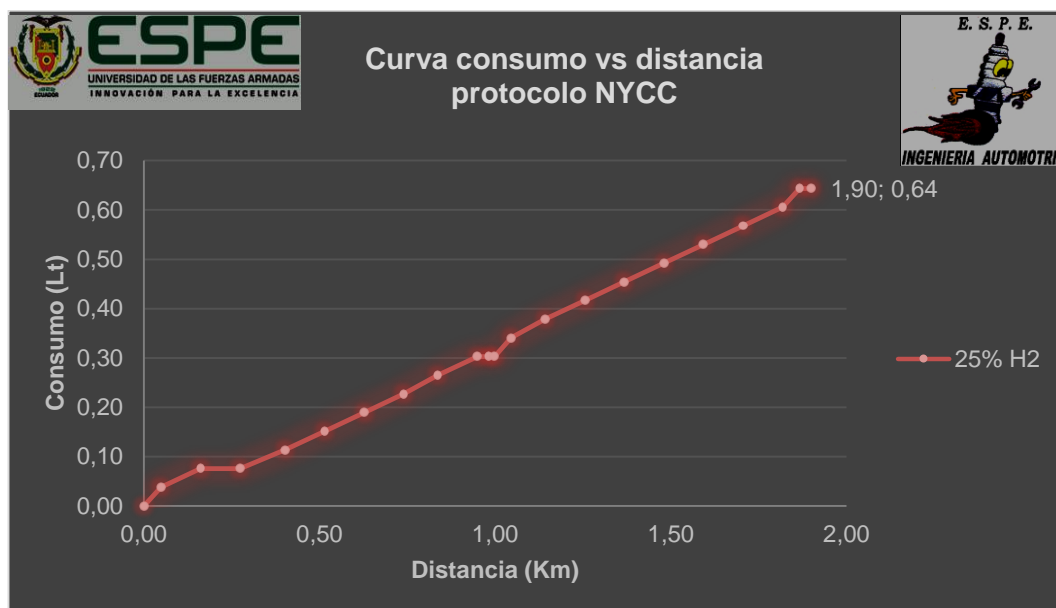


Figura 145. Protocolo NYCC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo

- Inyección del 50% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo NYCC con inyección del 50% de hidrógeno se registran en la tabla 35, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 35.

Datos obtenidos con inyección 50% de hidrógeno protocolo NYCC

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	167	75.00
20	0.09	0.14	0.02	0.08	27	43.45	167	75.00
40	0.23	0.37	0.04	0.15	24	38.62	171	77.22
60	0.33	0.53	0.05	0.19	14	22.53	171	77.22

CONTINÚA



80	0.45	0.72	0.07	0.26	19	30.58	174	78.89
100	0.47	0.76	0.08	0.30	0	0.00	174	78.89
120	0.47	0.76	0.08	0.30	0	0.00	174	78.89
140	0.52	0.84	0.1	0.38	20	32.19	176	80.00
160	0.65	1.05	0.12	0.45	24	38.62	180	82.22
180	0.77	1.24	0.13	0.49	26	41.84	181	82.78
200	0.91	1.46	0.15	0.57	27	43.45	185	85.00
220	1.04	1.67	0.17	0.64	9	14.48	187	86.11

La curva velocidad vs tiempo presentada en la figura 146 con inyección del 50% de hidrógeno, donde se verifica que la velocidad no excede los 44,6 Km/h regido por la prueba NYCC, donde se registra un tiempo de 220 segundos (eje de las abscisas) y también se registran variaciones bruscas de velocidad (eje de las ordenadas), representando un estilo de conducción urbana en la cual se aprecia al principio de la prueba se muestra el pico más alto de velocidad de 43,45 Km/h y después se presenta una caída de velocidad hasta quedar completamente detenido el vehículo por 30 segundos, nuevamente crece la velocidad con cuatro fluctuaciones hasta que termina la prueba en el destino específico.

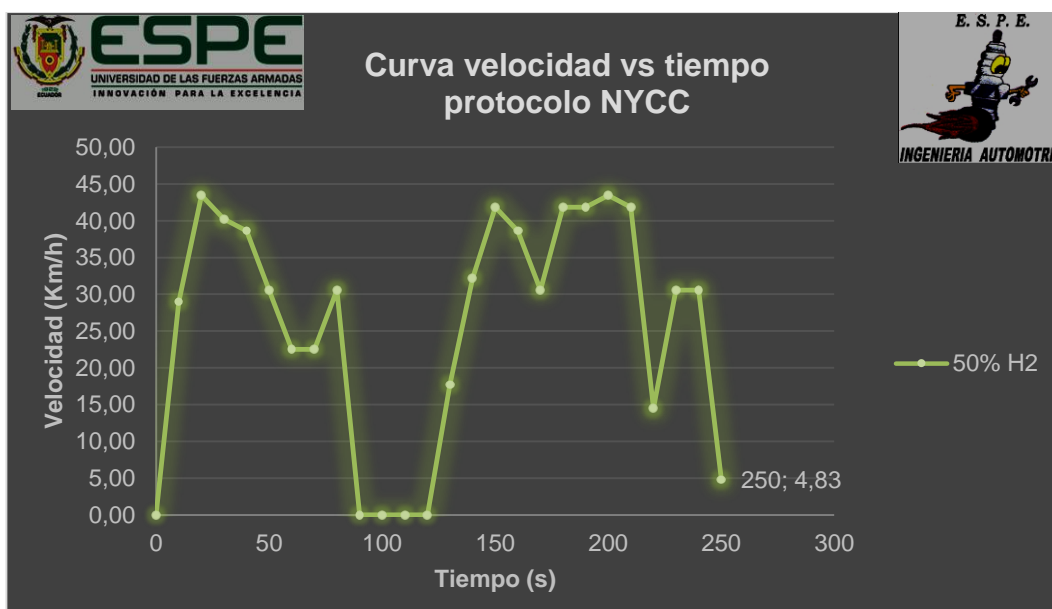


Figura 146. Protocolo NYCC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva de consumo vs distancia con inyección del 50% de hidrógeno se presenta en la figura 147, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia de 1,90 kilómetros y el consumo de combustible en dicha distancia se lo registro de 0,72 litros, donde se verifica un consumo creciente irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

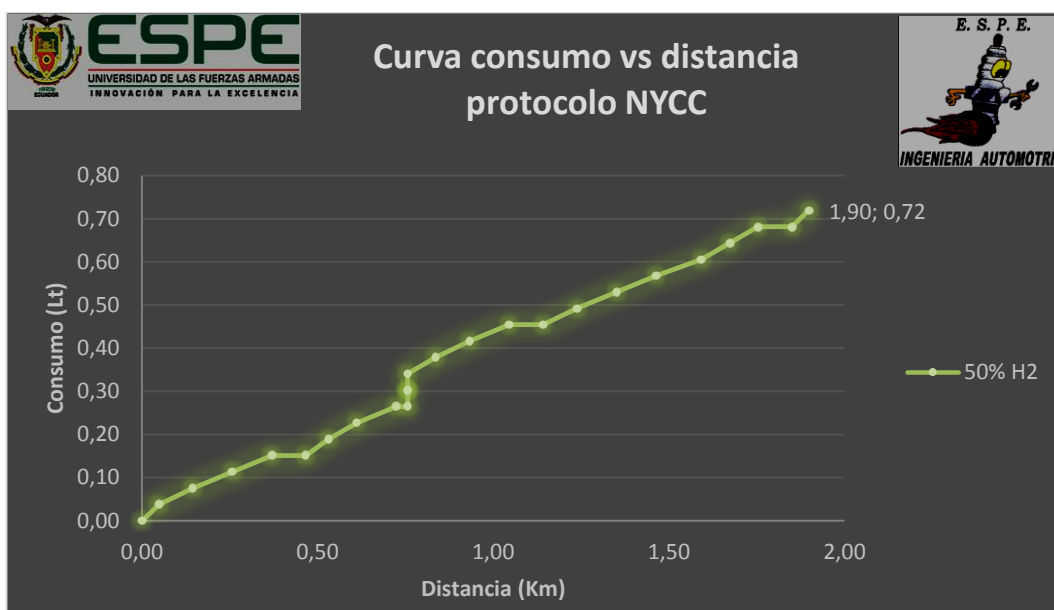


Figura 147. Protocolo NYCC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs consumo

- Inyección del 75% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo NYCC con inyección del 75% de hidrógeno se registran en la tabla 36, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 36.**Datos obtenidos con inyección de 75% de hidrógeno protocolo NYCC**

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.1	0.16	0.02	0.08	25	40.23	185	85.00
40	0.24	0.39	0.03	0.11	26	41.84	189	87.22
60	0.38	0.61	0.05	0.19	28	45.06	187	86.11
80	0.53	0.85	0.07	0.26	25	40.23	187	86.11
100	0.66	1.06	0.09	0.34	13	20.92	187	86.11
120	0.71	1.14	0.1	0.38	10	16.09	185	85.00
140	0.77	1.24	0.11	0.42	11	17.70	187	86.11
160	0.8	1.29	0.12	0.45	14	22.53	185	85.00
180	0.93	1.50	0.14	0.53	25	40.23	187	86.11
200	1.07	1.72	0.16	0.61	25	40.23	189	87.22
220	1.16	1.87	0.17	0.64	12	19.31	185	85.00
230	1.18	1.90	0.17	0.64	1	1.61	185	85.00

En la figura 148 se presenta la curva de velocidad vs tiempo con la inyección del 75% de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede de 44,6 Km/h regido por el protocolo FTP-75, donde se registró un tiempo total de la prueba de 230 segundos (eje de las abscisas), el comportamiento de la velocidad de conducción es irregular (eje de las ordenadas), existe un pico alto de velocidad al inicio de 40,23 Km/h donde se presenta un descenso a una velocidad muy baja de 4,83 Km/h a causa de tráfico en conjunto con semáforos y nuevamente la velocidad crece de 40,23 Km/h a causa de despeje de tránsito y sin semáforos terminando la prueba con una reducción de velocidad al destino específico.

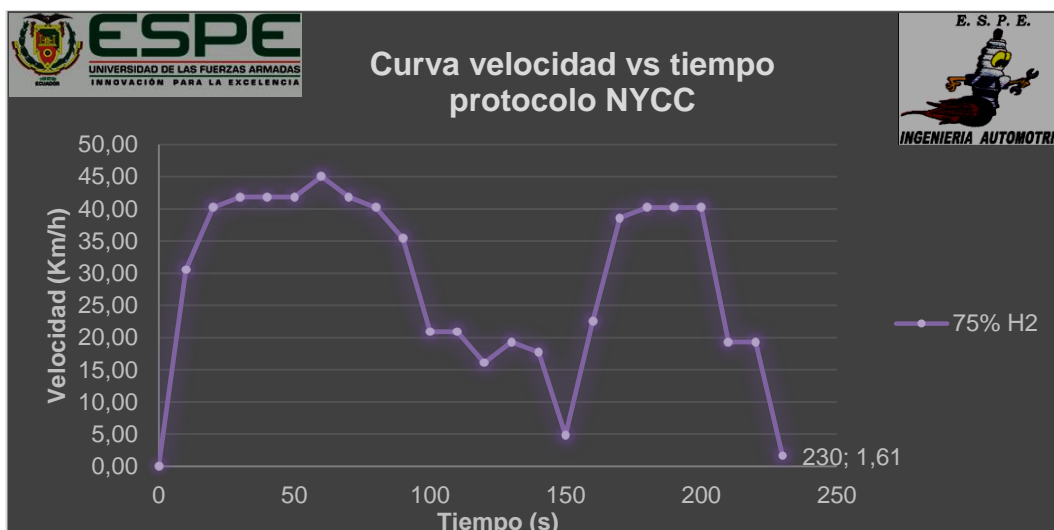


Figura 148. Protocolo NYCC con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

Con la inyección del 75% de hidrógeno se presenta la curva de consumo vs distancia en la figura 149 donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, obteniendo un consumo de combustible de 0,64 litros cumpliendo con la distancia de 1,9 kilómetros regido por el protocolo NYCC, la curva presenta un aumento de consumo irregular según termina la prueba.

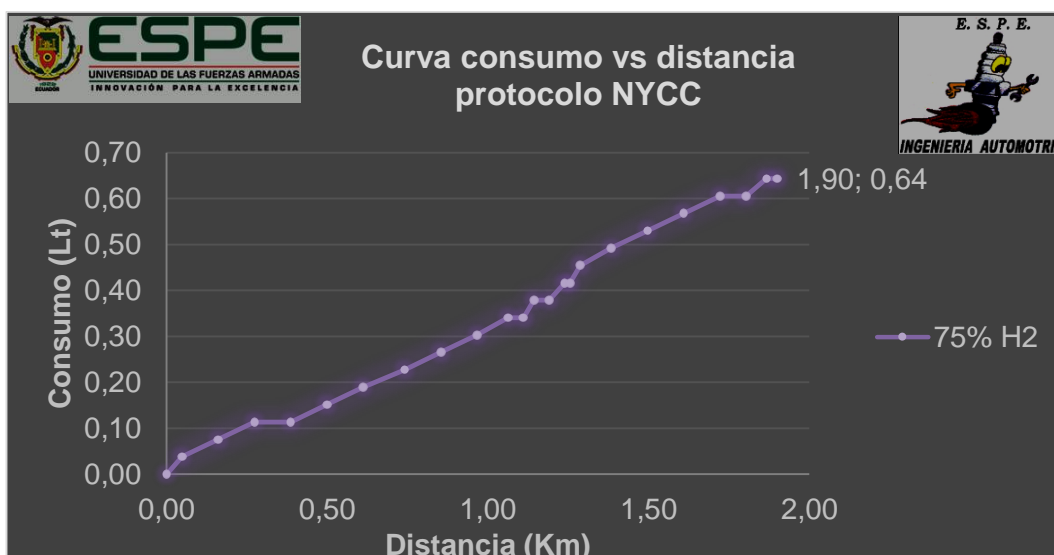


Figura 149. Protocolo NYCC con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 100% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo NYCC con inyección del 100% de hidrógeno se registran en la tabla 37, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 37.

Datos obtenidos con inyección de 100% de hidrógeno protocolo NYCC

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.11	0.18	0.02	0.08	24	38.62	187	86.11
40	0.25	0.40	0.04	0.15	24	38.62	189	87.22
60	0.37	0.60	0.05	0.19	15	24.14	185	85.00
80	0.39	0.63	0.06	0.23	8	12.87	185	85.00
100	0.49	0.79	0.08	0.30	24	38.62	187	86.11
120	0.62	1.00	0.09	0.34	25	40.23	185	85.00
140	0.76	1.22	0.11	0.42	26	41.84	185	85.00
160	0.9	1.45	0.13	0.49	21	33.80	185	85.00
180	0.98	1.58	0.14	0.53	5	8.05	185	85.00
200	1.03	1.66	0.15	0.57	18	28.97	183	83.89
220	1.12	1.80	0.16	0.61	9	14.48	185	85.00
238	1.18	1.90	0.17	0.64	5	8.05	183	83.89

En la figura 150 se presenta la curva de velocidad vs tiempo con la inyección del 100% de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 44,6 Km/h regido por el protocolo NYCC, donde durante el tiempo de la prueba de 238 segundos (eje de las abscisas) existen pendientes positivas y negativas de velocidad (eje de las ordenadas) representando un estilo común de manejo en una zona urbana donde se aprecia que el vehículo alcanza picos de velocidad de 40,23 Km/h, existiendo un registro de velocidad de 0 Km/h y nuevamente con un pico alto de 41,84 Km/h y continuando con fluctuaciones de cambio de velocidad terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

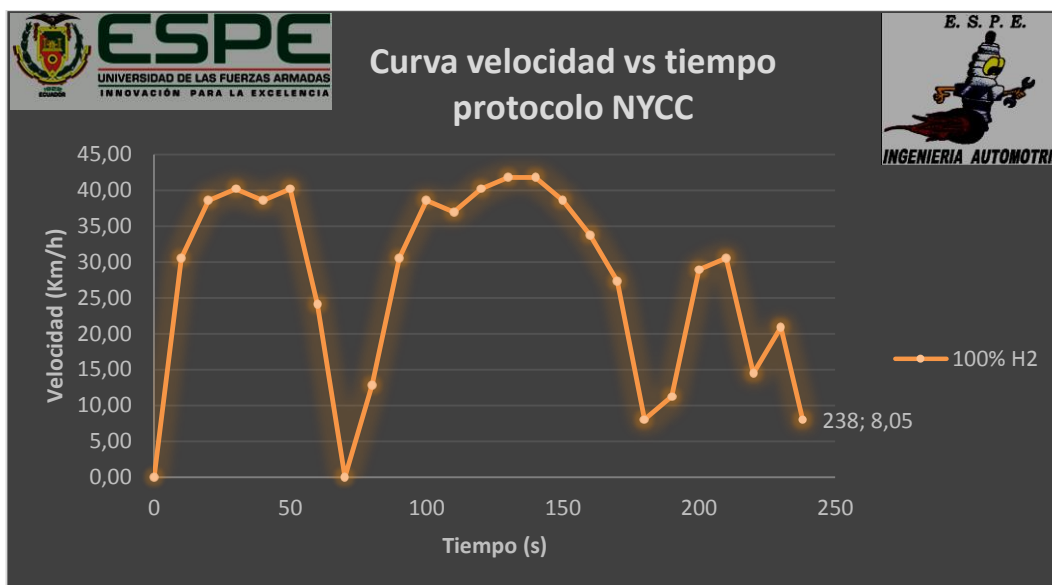


Figura 150. Protocolo NYCC con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva de consumo vs distancia con la inyección del 100% de hidrógeno se presenta en la figura 151, donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde el consumo registra 0,64 litros en una distancia total de 1,9 kilómetros regido por el protocolo NYCC, de esta manera se verifica que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la ruta trazada.

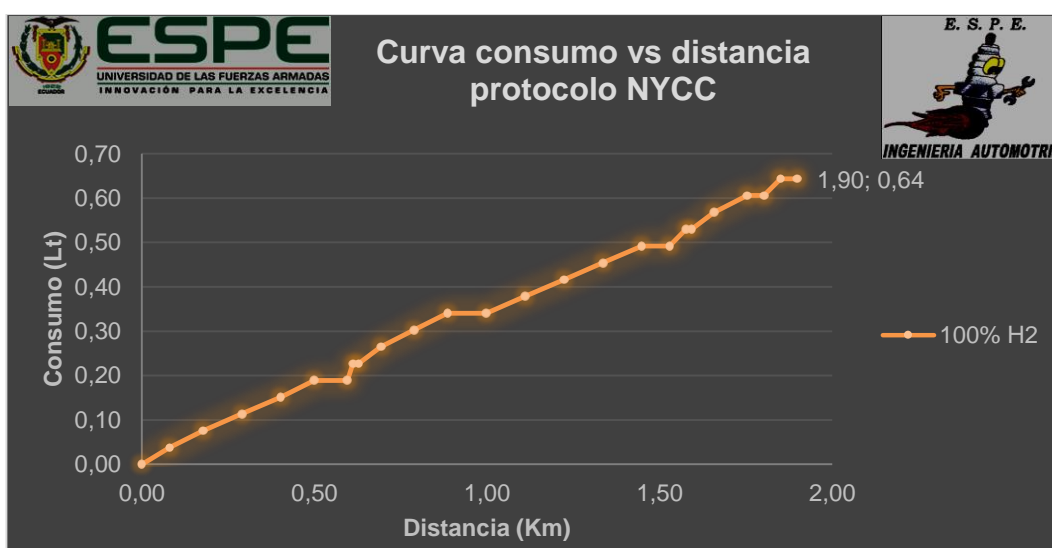


Figura 151. Protocolo NYCC con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Resumen estadístico del protocolo NYCC

En la comparación de los resultados obtenidos con motor estándar y con inyección de 25%, 50% 75% y 100% de hidrógeno se analizaron de forma individual tres puntos importantes, el tiempo total en el que se realizó el protocolo de consumo de combustible, el consumo de combustible y la variación del mismo

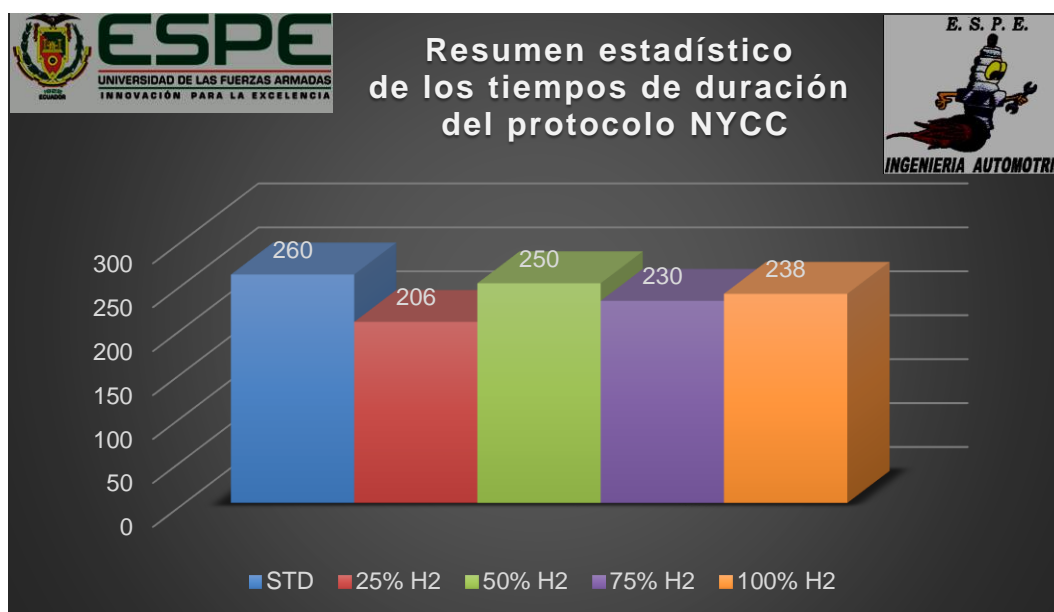


Figura 152. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo NYCC

En la figura 149 se compara el tiempo total en segundos que se terminó la ruta asignada para el protocolo NYCC a diferentes condiciones. Tomando en cuenta que el tiempo máximo es el obtenido con motor estándar, el tiempo de la prueba con inyección del 25% de hidrógeno disminuye en un 20,76%, el tiempo de la prueba con inyección del 50% de hidrógeno disminuye en un 3,84%, el tiempo de la prueba con inyección del 75% de hidrógeno disminuye en un 11,5% y el tiempo de la prueba con inyección del 100% de hidrógeno aumenta en un 8,5%. Manteniendo el tiempo con una reducida variación para cada condición de prueba.

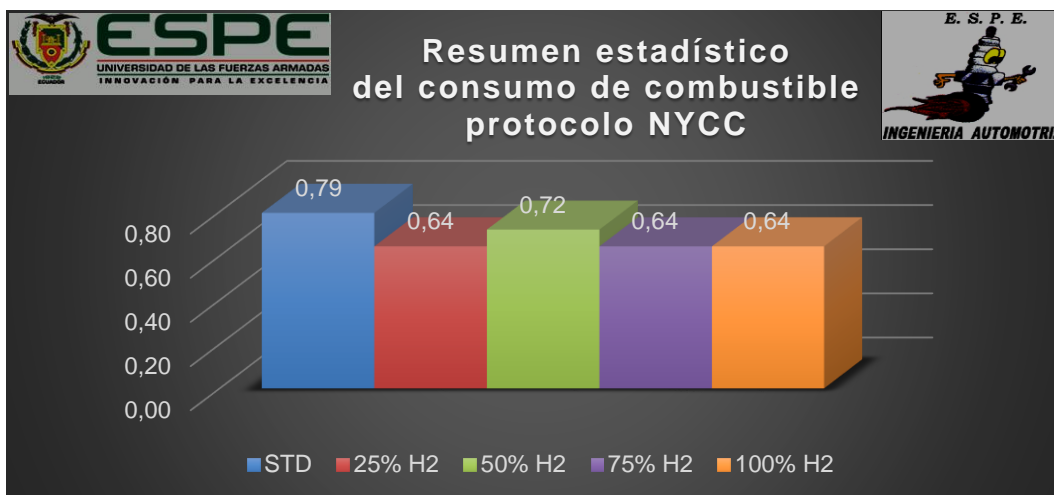


Figura 153. Resumen estadístico de consumo de combustible protocolo NYCC

En la figura 153 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables con la inyección de hidrógeno, teniendo como la más alta la condición a motor estándar con 0,79 litros de consumo, seguidos de los valores de 0,64 litros con inyección del 25% de hidrógeno, 0,72 litros con inyección del 50% de hidrógeno, 0,64 litros con inyección del 75% de hidrógeno y 0,64 litros con inyección del 100% de hidrógeno. Siendo los valores más bajos y notables en la condición de 25%, 75% y 100% con un valor de 0,64 existiendo una variación de 0,15 litros.

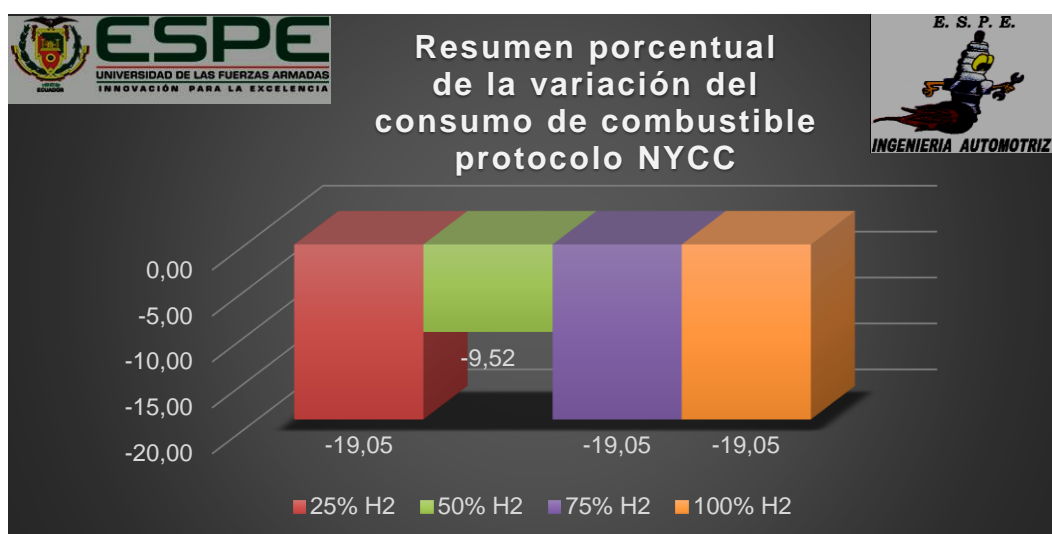


Figura 154. Resumen porcentual de la variación de consumo de combustible protocolo NYCC

En la figura 154 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables con la inyección de hidrógeno, teniendo como la más alta la condición a motor estándar con 0,79 litros de consumo, seguidos de los valores de 0,64 litros con inyección del 25% de hidrógeno, 0,72 litros con inyección del 50% de hidrógeno, 0,64 litros con inyección del 75% de hidrógeno y 0,64 litros con inyección del 100% de hidrógeno. Siendo los valores más bajos y notables en la condición de 25%, 75% y 100% con un valor de 0,64 existiendo una variación de 0,15 litros.

c) Datos obtenidos prueba de consumo de combustible europea ECE-15 + EUDC

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo ECE-15 con el motor trabajando de manera estándar “STD” se registran en la tabla 38 las cuatro etapas primeras con las mismas condiciones, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 38.

Datos obtenidos motor estándar protocolo ECE-15 cuatro etapas

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	169	76.11
20	0.08	0.13	0.02	0.08	22	35.41	171	77.22
40	0.2	0.32	0.03	0.11	25	40.23	171	77.22
60	0.35	0.56	0.05	0.19	26	41.84	172	77.78
80	0.5	0.80	0.07	0.26	25	40.23	172	77.78
100	0.62	1.00	0.09	0.34	4	6.44	172	77.78

CONTINÚA



Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	172	77.78
20	0.08	0.13	0.02	0.08	25	40.23	172	77.78
40	0.12	0.19	0.02	0.08	0	0.00	174	78.89
60	0.17	0.27	0.04	0.15	21	33.80	174	78.89
80	0.31	0.50	0.06	0.23	25	40.23	178	81.11
100	0.46	0.74	0.08	0.30	27	43.45	180	82.22
123	0.62	1.00	0.1	0.38	14	22.53	183	83.89
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	181	82.78
20	0.09	0.14	0.02	0.08	27	43.45	183	83.89
40	0.24	0.39	0.04	0.15	26	41.84	187	86.11
60	0.34	0.55	0.05	0.19	19	30.58	187	86.11
80	0.45	0.72	0.07	0.26	11	17.70	183	83.89
100	0.54	0.87	0.09	0.34	16	25.75	185	85.00
116	0.62	1.00	0.1	0.38	14	22.53	185	85.00
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.06	0.10	0.01	0.04	18	28.97	181	82.78
40	0.19	0.31	0.03	0.11	25	40.23	185	85.00
60	0.26	0.42	0.04	0.15	0	0.00	185	85.00
80	0.26	0.42	0.05	0.19	0	0.00	185	85.00
100	0.28	0.45	0.06	0.23	4	6.44	181	82.78
120	0.36	0.58	0.08	0.30	25	40.23	183	83.89
140	0.51	0.82	0.1	0.38	26	41.84	187	86.11
156	0.62	1.00	0.11	0.42	21	33.80	189	87.22

En la figura 155 se presenta la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando de manera estándar “STD” donde se verifica que la velocidad no excede los 50 Km/h regido por el protocolo ECE-15 en las cuatro etapas de este protocolo, donde durante el tiempo de la prueba de 495 segundos (eje de las abscisas) en todas las etapas, existen aumentos y descensos de velocidad (eje de las ordenadas) marcado en cada color el inicio y fin de cada etapa con detenciones totales en cada una de ellas,

representando un estilo común de manejo en una ruta urbano donde se aprecia que el vehículo tiene detenciones por motivo de tráfico, semáforos y señales de tránsito, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

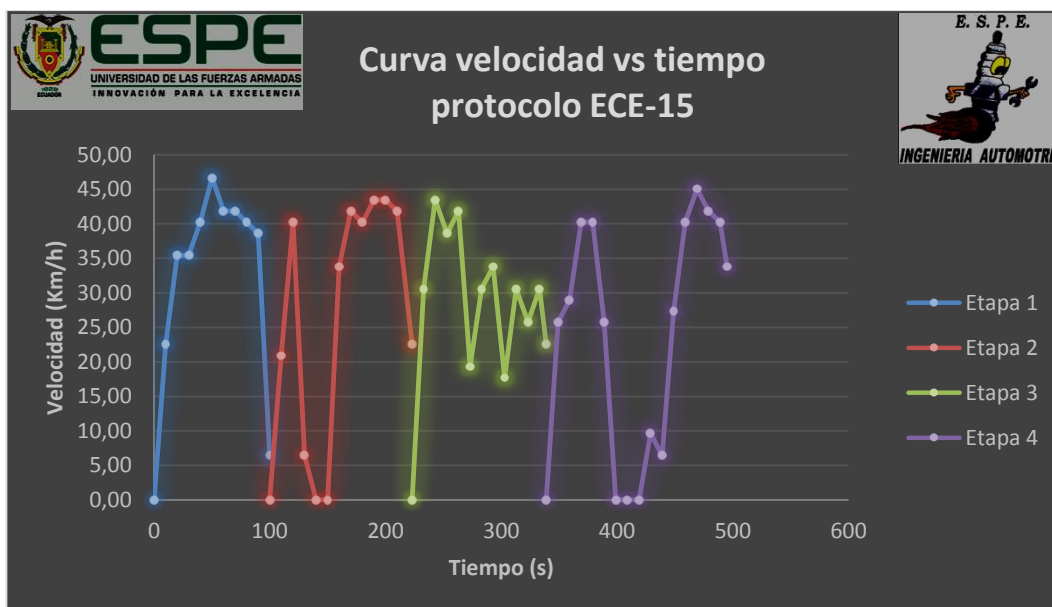


Figura 155. Protocolo ECE-15 con motor estándar curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 156 con motor trabajando de manera estándar “STD” donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia 4,00 kilómetros regido por el protocolo ECE-15 en el total de las cuatro etapas dividiéndolo en 4 partes para cada etapa y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 1.51 litros acumulado obteniendo valores independientes de 0.34 litros en la primera etapa, 0.38 litros en la segunda y tercer etapa y 0.42 litros en la cuarta etapa, con un valor promedio de 0.38 litros constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

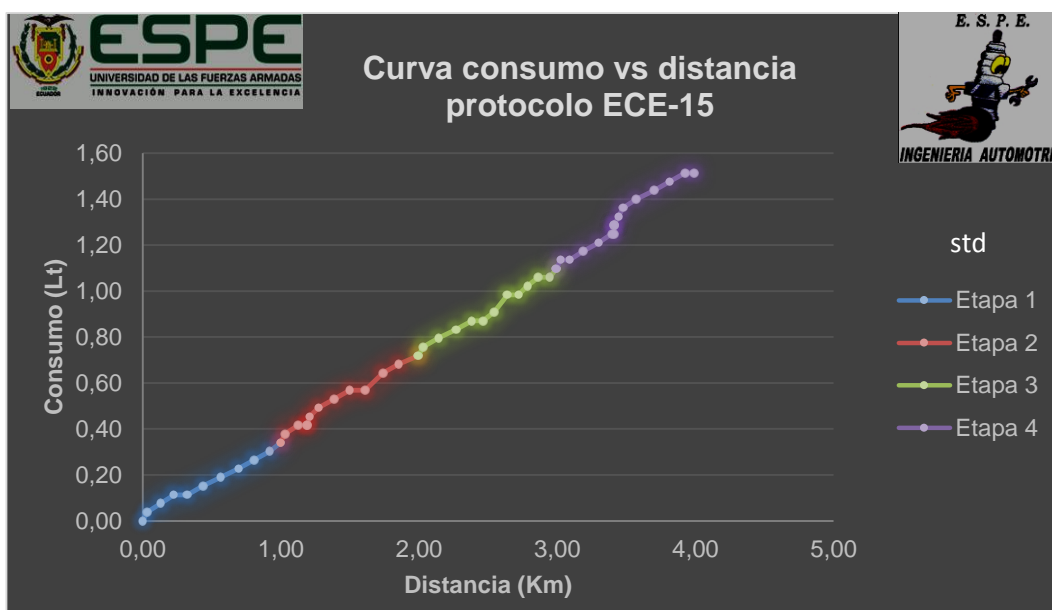


Figura 156. Protocolo ECE-15 con motor estándar curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la quinta etapa de la prueba el protocolo de consumo de combustible EUDC con el motor trabajando de manera estándar “STD” se registran los valores obtenidos en la tabla 39, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 39.

Datos obtenidos con motor estándar prueba EUDC quinta etapa

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
40	0.3	0.48	0.05	0.19	47	75.64	189	87.22
80	0.79	1.27	0.09	0.34	39	62.76	185	85.00
120	1.29	2.08	0.13	0.49	47	75.64	187	86.11
160	1.74	2.80	0.17	0.64	21	33.80	187	86.11
200	1.94	3.12	0.21	0.79	42	67.59	183	83.89

CONTINÚA



220	2.19	3.52	0.24	0.91	48	77.25	190	87.78
260	2.67	4.30	0.29	1.10	42	67.59	189	87.22
300	3.08	4.96	0.34	1.29	39	62.76	189	87.22
340	3.54	5.70	0.37	1.40	47	75.64	185	85.00
380	4.07	6.55	0.41	1.55	47	75.64	183	83.89
403	4.32	6.95	0.44	1.67	14	22.53	189	87.22

Con motor trabajando de manera estándar “STD” en la figura 157 se presenta la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 120 Km/h regido por el protocolo de prueba EUDC, donde durante el tiempo de la prueba de 403 segundos (eje de las abscisas) existen pendientes positivas y negativas de velocidad (eje de las ordenadas) siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo muy común donde se aprecia que el vehículo se detiene por una vez y la presencia de una velocidad constante es poco visible, terminando la prueba con velocidad baja simulando la llegada a un destino específico

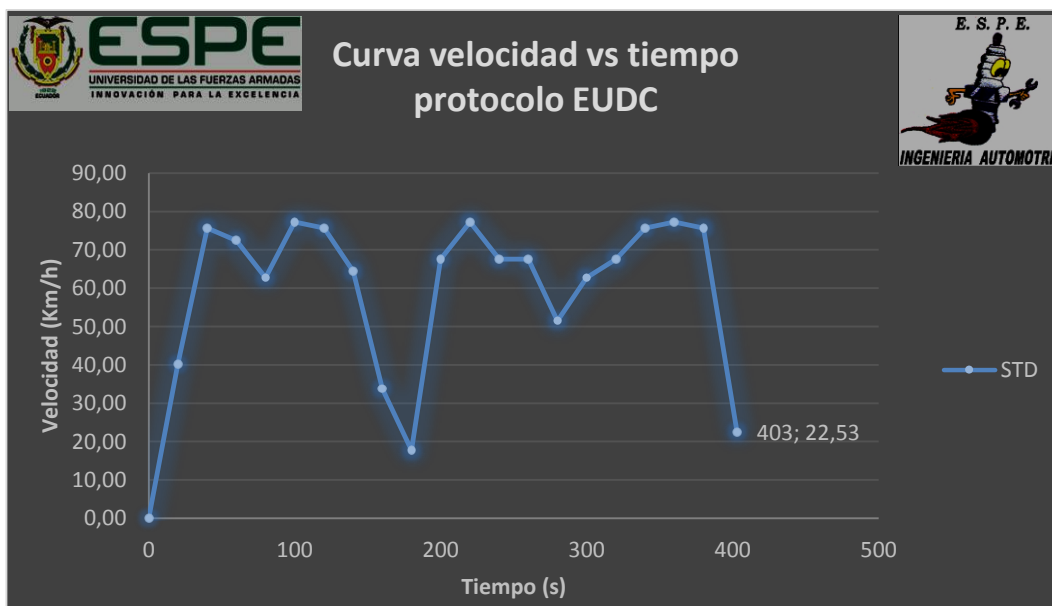


Figura 157. Protocolo EUDC con motor estándar curva velocidad vs tiempo

En la figura 158 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando de manera estándar “STD” donde se muestra la distancia

recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia recorrida de 6.95 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,67 litros, de tal manera el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

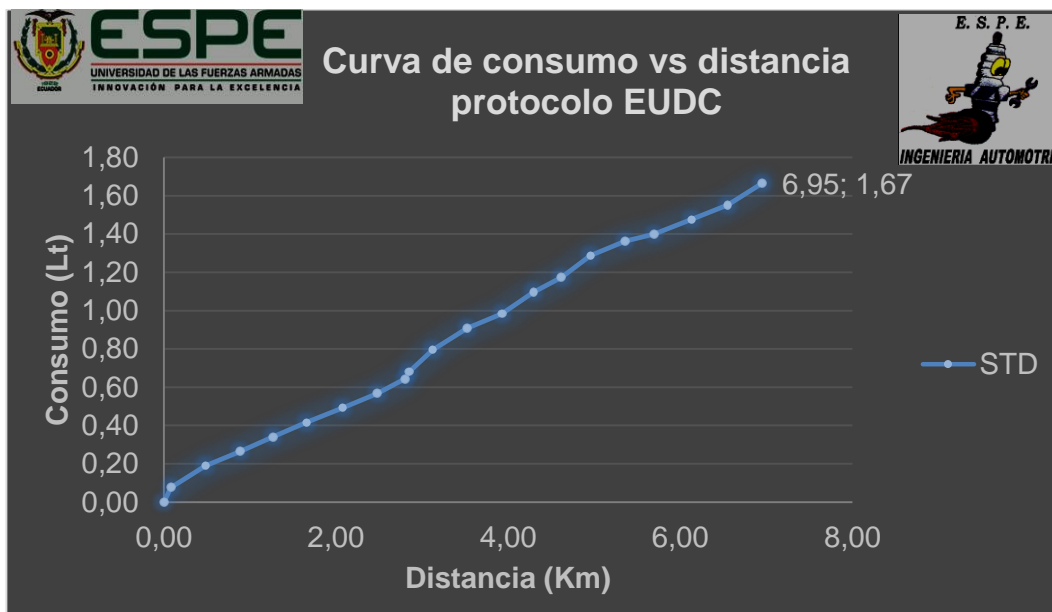


Figura 158. Protocolo EUDC con motor estándar curva consumo vs distancia

- Inyección del 25% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo ECE-15 con el motor trabajando con la inyección del 25% de hidrógeno se registran en la tabla 40 las cuatro etapas primeras con las mismas condiciones, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 40.

Datos obtenidos con inyección de 25% protocolo ECE-15 cuatro etapas

Tiempo	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
(segundos)	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	174	78.89
20	0.1	0.16	0.02	0.08	27	43.45	178	81.11
40	0.25	0.40	0.04	0.15	27	43.45	180	82.22
60	0.4	0.64	0.06	0.23	22	35.41	181	82.78
80	0.47	0.76	0.07	0.26	19	30.58	181	82.78
100	0.57	0.92	0.09	0.34	13	20.92	185	85.00
120	0.59	0.95	0.09	0.34	1	1.61	187	86.11
144	0.62	1.00	0.1	0.38	12	19.31	187	86.11
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.1	0.16	0.02	0.08	25	40.23	183	83.89
40	0.25	0.40	0.04	0.15	28	45.06	187	86.11
60	0.39	0.63	0.06	0.23	16	25.75	189	87.22
80	0.49	0.79	0.07	0.26	24	38.62	183	83.89
99	0.62	1.00	0.09	0.34	19	30.58	187	86.11
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.1	0.16	0.02	0.08	25	40.23	185	85.00
40	0.25	0.40	0.04	0.15	27	43.45	183	83.89
60	0.4	0.64	0.05	0.19	26	41.84	185	85.00
80	0.55	0.89	0.07	0.26	25	40.23	187	86.11
90	0.62	1.00	0.08	0.30	21	33.80	187	86.11
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.04	0.06	0.01	0.04	3	4.83	185	85.00
40	0.09	0.14	0.02	0.08	23	37.01	181	82.78
60	0.24	0.39	0.04	0.15	25	40.23	187	86.11
80	0.38	0.61	0.06	0.23	27	43.45	189	87.22
100	0.53	0.85	0.08	0.30	27	43.45	185	85.00
112	0.62	1.00	0.09	0.34	22	35.41	185	85.00

En la figura 159 se presenta la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando con la inyección del 25% de la capacidad máxima del equipo donde se verifica que la velocidad no excede los 50 Km/h regido por el procedimiento ECE-15 en las cuatro etapas de este protocolo, donde durante el tiempo de la prueba de 445 segundos (eje de las abscisas) en todas las etapas, existen aumentos y descensos de velocidad (eje de las ordenadas) marcado en cada color el inicio y fin de cada etapa con detenciones totales en cada una de ellas, representando un estilo común de manejo en una ruta urbano donde se aprecia que el vehículo tiene detenciones por motivo de tráfico, semáforos y señales de tránsito, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

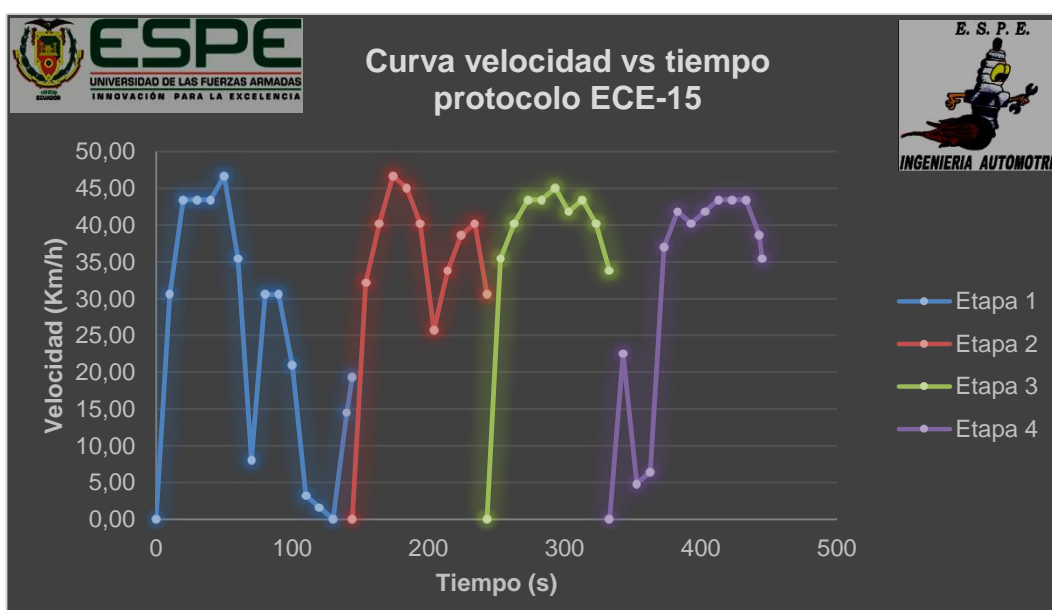


Figura 159. Protocolo ECE-15 con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 160 con motor adicionado 25% de generación de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se verifica la distancia 4,00 kilómetros regido por el protocolo ECE-15 en el total de las cuatro etapas dividiéndolo en 4 partes para cada etapa y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 1.36 litros acumulado obteniendo valores

independientes de 0.38 litros en la primera etapa, 0.34 litros en la segunda etapa, 0,30 litros en la tercera etapa y 0.34 litros en la cuarta etapa, con un valor promedio de 0.34 litros constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

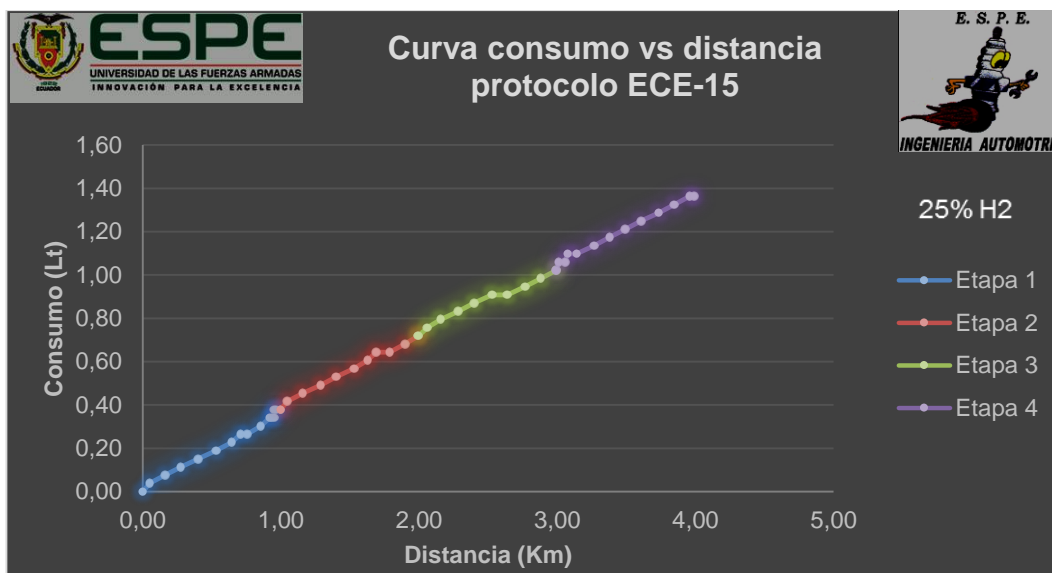


Figura 160. Protocolo ECE-15 con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la quinta etapa de la prueba el protocolo de consumo de combustible EUDC con el motor trabajando adicionado 25% de hidrógeno se registran los valores obtenidos en la tabla 41, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 41.

Datos obtenidos con inyección de 25% de hidrógeno protocolo EUDC quinta etapa

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	2	3.22	185	85.00
40	0.2	0.32	0.04	0.15	27	43.45	190	87.78

CONTINÚA



80	0.57	0.92	0.09	0.34	41	65.98	189	87.22
120	1.07	1.72	0.13	0.49	47	75.64	187	86.11
160	1.65	2.66	0.16	0.61	53	85.30	185	85.00
200	2.16	3.48	0.23	0.87	42	67.59	189	87.22
240	2.65	4.26	0.28	1.06	46	74.03	189	87.22
280	3.19	5.13	0.32	1.21	34	54.72	185	85.00
320	3.69	5.94	0.37	1.40	39	62.76	190	87.78
360	4.11	6.61	0.43	1.63	39	62.76	190	87.78
394	4.32	6.95	0.45	1.70	24	38.62	189	87.22

Con motor trabajando con hidrógeno al 25% de hidrógeno en la figura 161 se presenta la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 120 Km/h regido por el protocolo de prueba EUDC, donde durante el tiempo de la prueba de 394 segundos (eje de las abscisas) existen pendientes positivas y negativas de velocidad (eje de las ordenadas) siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo de carretera donde la velocidad es constante en su mayor parte de tiempo, terminando la prueba con velocidad baja simulando la llegada a un destino específico

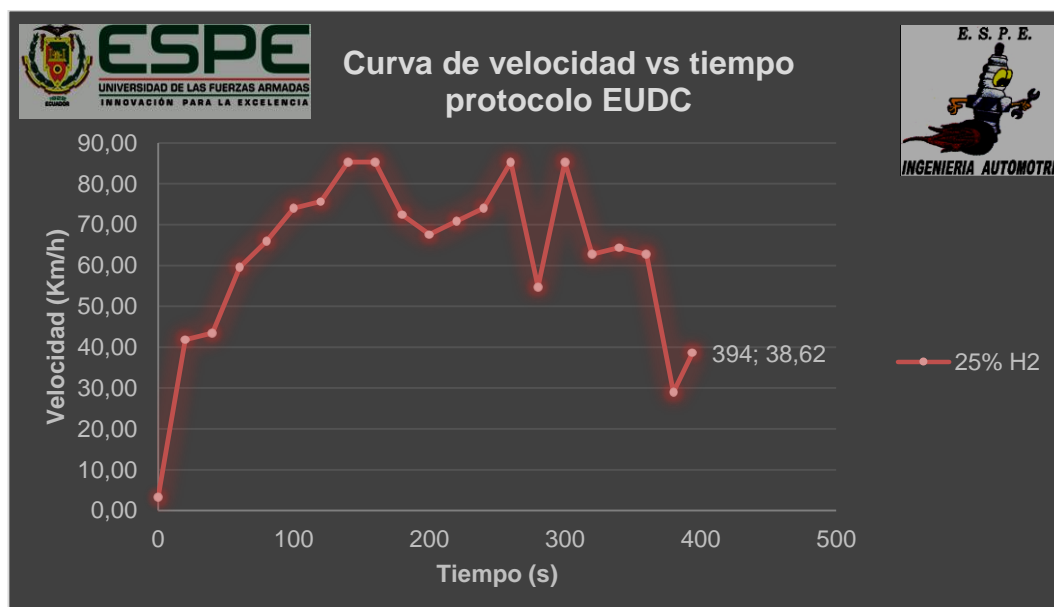


Figura 161. Protocolo EUDC con inyección 25% de hidrógeno curva velocidad vs consumo

En la figura 162 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando con la adición del 25% de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia recorrida de 6.95 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,70 litros, de tal manera el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

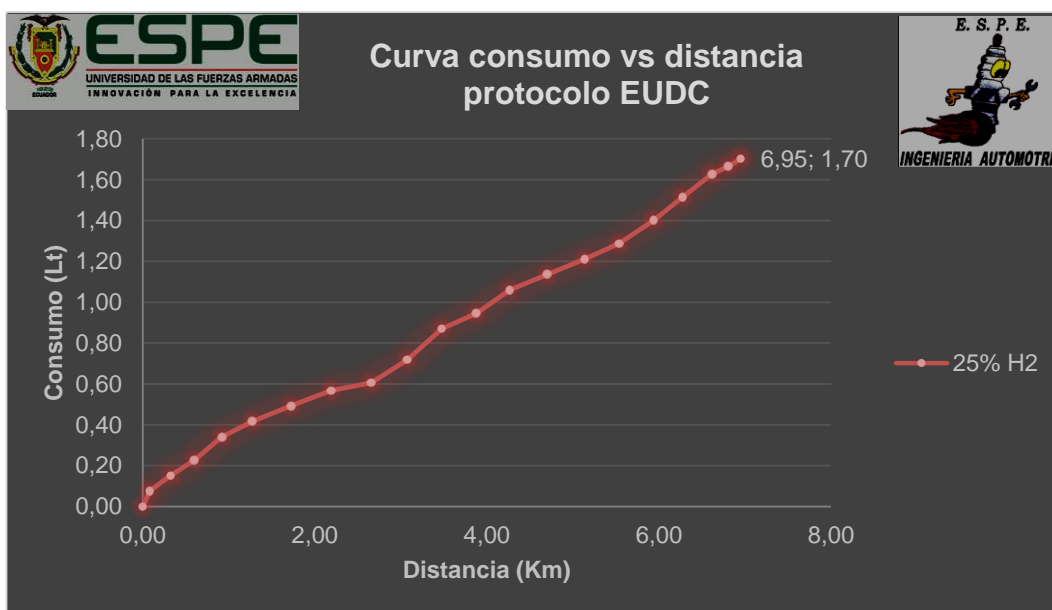


Figura 162. Protocolo EUDC con inyección 25% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 50% hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo ECE-15 con el motor trabajando con la inyección del 50% de hidrógeno se registran en la tabla 42 las cuatro etapas primeras con las mismas condiciones, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 42.

Datos obtenidos con inyección de 25% protocolo ECE-15 cuatro etapas

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.08	0.13	0.01	0.04	25	40.23	185	85.00
40	0.22	0.35	0.03	0.11	27	43.45	187	86.11
60	0.37	0.60	0.05	0.19	28	45.06	187	86.11
80	0.52	0.84	0.07	0.26	27	43.45	187	86.11
93	0.62	1.00	0.08	0.30	21	33.80	185	85.00
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.1	0.16	0.02	0.08	28	45.06	185	85.00
40	0.19	0.31	0.03	0.11	21	33.80	187	86.11
60	0.34	0.55	0.05	0.19	27	43.45	187	86.11
80	0.49	0.79	0.07	0.26	24	38.62	187	86.11
99	0.62	1.00	0.09	0.34	19	30.58	187	86.11
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.12	0.19	0.02	0.08	29	46.67	187	86.11
40	0.28	0.45	0.04	0.15	26	41.84	189	87.22
60	0.4	0.64	0.05	0.19	14	22.53	185	85.00
80	0.41	0.66	0.06	0.23	0	0.00	185	85.00
100	0.41	0.66	0.07	0.26	0	0.00	185	85.00
120	0.5	0.80	0.07	0.26	27	43.45	187	86.11
136	0.62	1.00	0.1	0.38	24	38.62	187	86.11
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.06	0.10	0.02	0.08	19	30.58	185	85.00
40	0.21	0.34	0.04	0.15	27	43.45	189	87.22
60	0.35	0.56	0.06	0.23	25	40.23	187	86.11
80	0.5	0.80	0.08	0.30	27	43.45	185	85.00
96	0.62	1.00	0.09	0.34	22	35.41	185	85.00

En la figura 163 se muestra la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando con la inyección del 50% de la capacidad máxima del generador de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 50 Km/h regido por el protocolo ECE-15 en las cuatro etapas de este protocolo, donde durante el tiempo de la prueba de 424 segundos en todas las etapas, existen aumentos y descensos de velocidad marcado en cada color el inicio y fin de cada etapa con detenciones totales en cada una de ellas, representando un estilo común de manejo en una ruta urbano donde se aprecia que el vehículo tiene detenciones por motivo de tráfico, semáforos y señales de tránsito, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

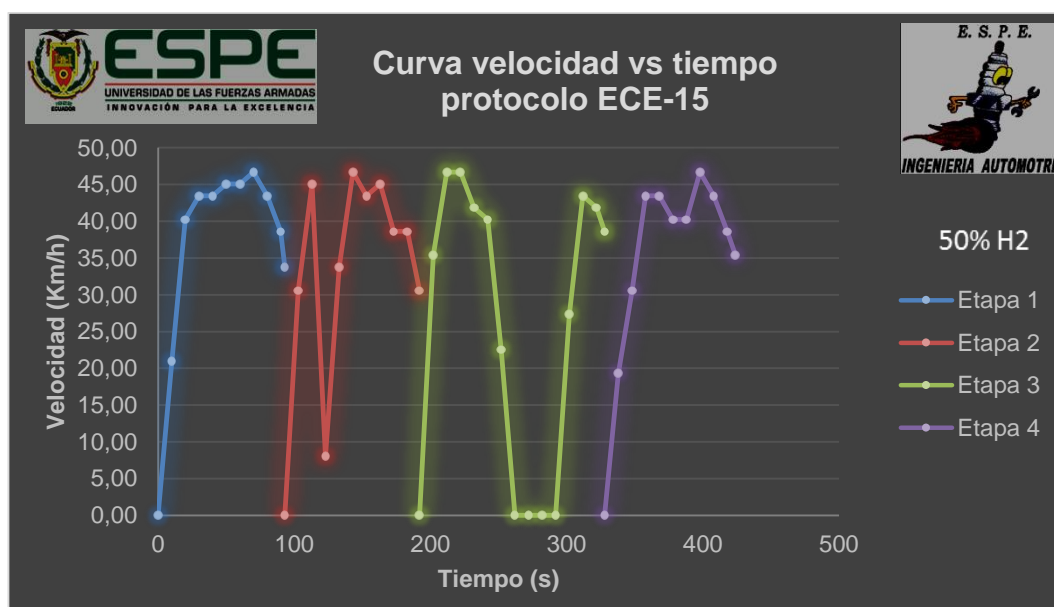


Figura 163. Protocolo ECE-15 con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 161 con motor adicionado 50% de generación de hidrógeno donde se revela la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva creciente donde se verifica la distancia 4,00 kilómetros regido por el protocolo ECE-15 en el total de las cuatro etapas dividiéndolo en 4 partes para cada etapa, exhibiendo el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 1.36 litros acumulado obteniendo valores independientes de 0.30 litros en la primera etapa, 0.34 litros en la

segunda etapa, 0,38 litros en la tercera etapa y 0.34 litros en la cuarta etapa, con un valor promedio de 0.34 litros constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

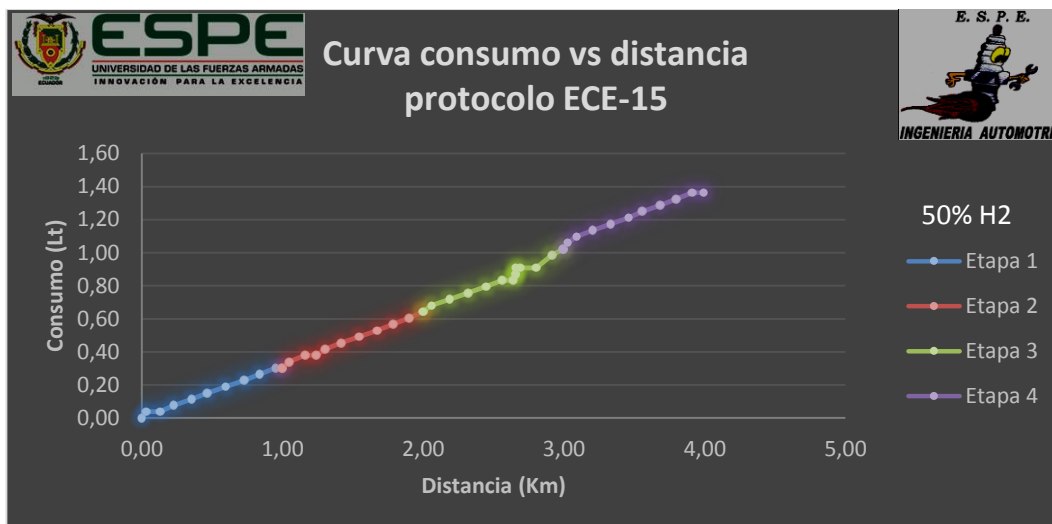


Figura 164. Protocolo ECE-15 con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la quinta etapa de la prueba el protocolo de consumo de combustible EUDC con el motor trabajando con hidrógeno al 50% se registran los valores obtenidos en la tabla 43, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 43.

Datos obtenidos con inyección de 50% de hidrógeno protocolo EUDC quinta etapa

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
40	0.31	0.50	0.04	0.15	44	70.81	190	87.78
80	0.85	1.37	0.08	0.30	55	88.51	185	85.00
120	1.44	2.32	0.14	0.53	50	80.47	189	87.22
160	1.96	3.15	0.19	0.72	50	80.47	187	86.11
200	2.55	4.10	0.23	0.87	51	82.08	185	85.00

CONTINÚA



240	3.05	4.91	0.29	1.10	47	75.64	190	87.78
280	3.53	5.68	0.35	1.32	37	59.55	190	87.78
320	3.71	5.97	0.38	1.44	36	57.94	189	87.22
367	4.32	6.95	0.42	1.59	44	70.81	185	85.00

Con motor trabajando con hidrógeno al 50% de su capacidad máxima se muestran en la figura 165 la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 120 Km/h regido por el protocolo de prueba EUDC, donde durante el tiempo de la prueba de 367 segundos, revelando variaciones positivas y negativas de velocidad siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo de carretera donde la velocidad es constante en su mayor parte de tiempo, terminando la prueba con velocidad media.

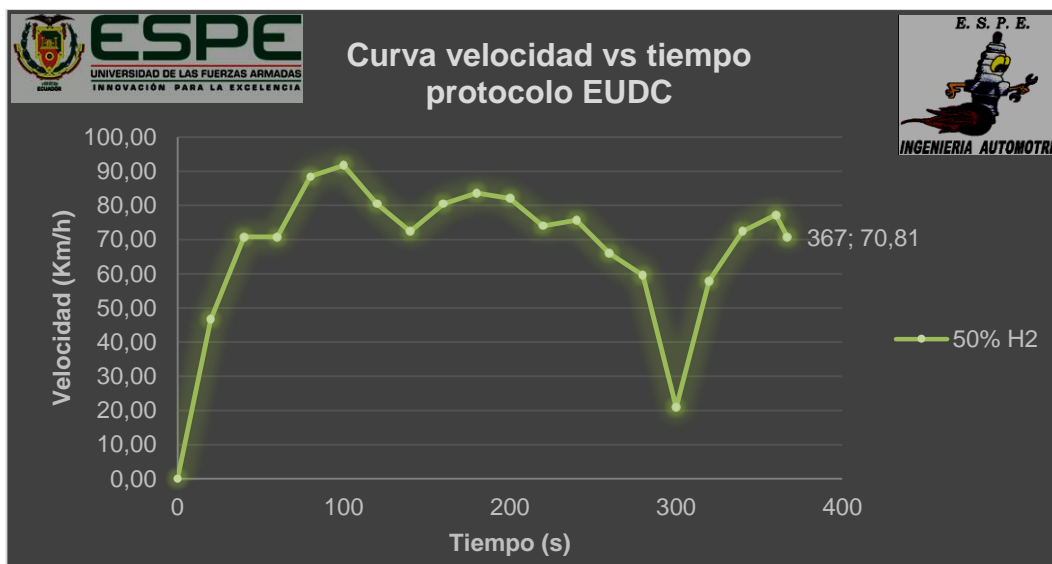


Figura 165. Protocolo EUDC con inyección 50% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

En la figura 166 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando con la adición del 50% de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia de 6.95 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,59 litros, de tal manera el consumo aumenta y disminuye irregularmente por los picos de la gráfica siendo positivos y negativos respectivamente cumpliendo la ruta hasta la llegada al destino específico.

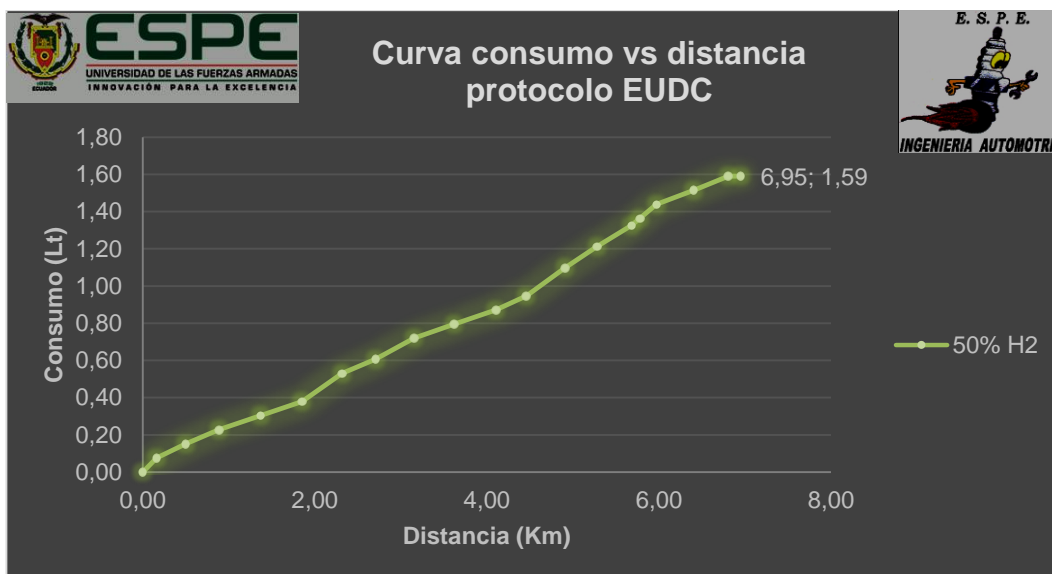


Figura 166. Protocolo EUDC con inyección 50% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 75% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo ECE-15 con el motor trabajando con la inyección del 75% de hidrógeno se registran en la tabla 44 las cuatro etapas primeras con las mismas condiciones, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 44.

Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo ECE-15 cuatro etapas

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.13	0.21	0.02	0.08	28	45.06	187	86.11
40	0.29	0.47	0.04	0.15	29	46.67	189	87.22
60	0.44	0.71	0.06	0.23	29	46.67	187	86.11

CONTINÚA



80	0.58	0.93	0.08	0.30	23	37.01	187	86.11
85	0.62	1.00	0.08	0.30	20	32.19	187	86.11
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.09	0.14	0.02	0.08	27	43.45	187	86.11
40	0.19	0.31	0.03	0.11	17	27.36	185	85.00
60	0.35	0.56	0.06	0.23	30	48.28	189	87.22
80	0.51	0.82	0.08	0.30	28	45.06	189	87.22
96	0.62	1.00	0.09	0.34	19	30.58	187	86.11
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.09	0.14	0.02	0.08	22	35.41	187	86.11
40	0.21	0.34	0.03	0.11	26	41.84	187	86.11
60	0.36	0.58	0.05	0.19	27	43.45	187	86.11
80	0.52	0.84	0.07	0.26	27	43.45	187	86.11
94	0.62	1.00	0.08	0.30	14	22.53	187	86.11
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.09	0.14	0.02	0.08	18	28.97	187	86.11
40	0.17	0.27	0.03	0.11	21	33.80	187	86.11
60	0.3	0.48	0.04	0.15	25	40.23	187	86.11
80	0.41	0.66	0.06	0.23	21	33.80	187	86.11
100	0.54	0.87	0.08	0.30	22	35.41	187	86.11
114	0.62	1.00	0.09	0.34	20	32.19	187	86.11

En la figura 167 se expone la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando con la inyección del 75% de la capacidad máxima del generador de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 50 Km/h regido por el protocolo ECE-15 en las cuatro etapas de esta ruta, siendo el tiempo de la prueba de 389 segundos en todas las etapas, existen aumentos y descensos de velocidad marcado en cada color el inicio y fin de cada etapa con detenciones totales en cada una de ellas, representando un estilo común de manejo en una ruta urbano donde se aprecia que el vehículo tiene detenciones por motivo de tráfico, semáforos y señales de tránsito,

terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

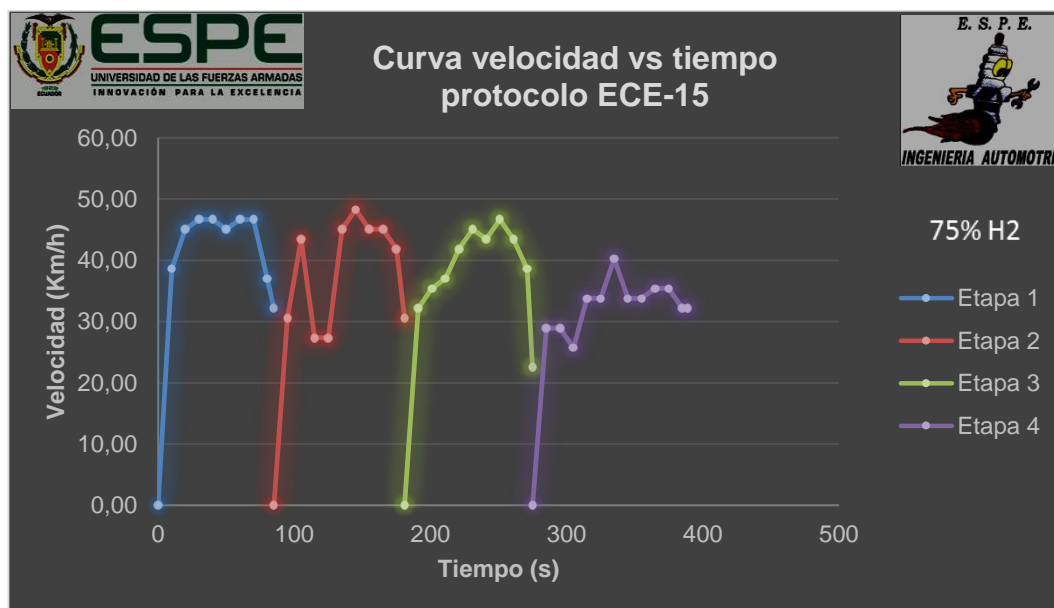


Figura 167. Protocolo ECE-15 con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 168 con el motor adicionado 75% de generación de hidrógeno donde se revela la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva creciente donde se verifica la distancia 4,00 kilómetros regido por el protocolo ECE-15 en el total de las cuatro etapas dividiéndolo en 4 partes para cada etapa, mostrando el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 1.29 litros acumulado obteniendo valores independientes de 0.30 litros en la primera etapa, 0.34 litros en la segunda etapa, 0,30 litros en la tercera etapa y 0.34 litros en la cuarta etapa, con un valor promedio de 0.32 litros constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

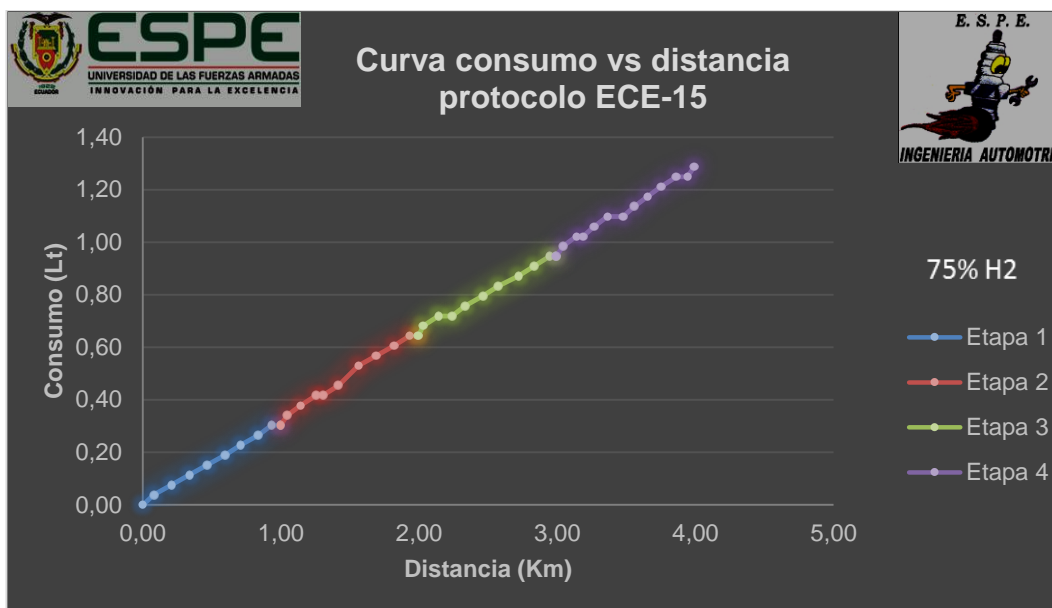


Figura 168. Protocolo ECE-15 con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la quinta etapa de la prueba el protocolo de consumo de combustible EUDC con el motor trabajando con hidrógeno al 75% se registran los valores obtenidos en la tabla 45, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 45.

Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo EUDC quinta etapa

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
40	0.25	0.40	0.04	0.15	40	64.37	185	85.00
80	0.75	1.21	0.07	0.26	50	80.47	185	85.00
120	1.34	2.16	0.11	0.42	47	75.64	189	87.22
160	1.84	2.96	0.16	0.61	44	70.81	189	87.22
200	2.26	3.64	0.2	0.76	51	82.08	187	86.11
240	2.91	4.68	0.24	0.91	50	80.47	187	86.11
280	3.37	5.42	0.3	1.14	42	67.59	189	87.22
320	3.61	5.81	0.33	1.25	3	4.83	189	87.22
360	3.7	5.95	0.35	1.32	32	51.50	189	87.22

CONTINÚA



409	4.32	6.95	0.4	1.51	49	78.86	185	85.00
-----	------	------	-----	------	----	-------	-----	-------

Con motor trabajando con hidrógeno al 75% de su capacidad máxima se muestran en la figura 169 la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 120 Km/h regido por el protocolo de prueba EUDC, donde durante el tiempo de la prueba de 409 segundos, revelando variaciones positivas y negativas de velocidad siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo donde la velocidad es constante en su mayor parte de tiempo, terminando la prueba con velocidad media.

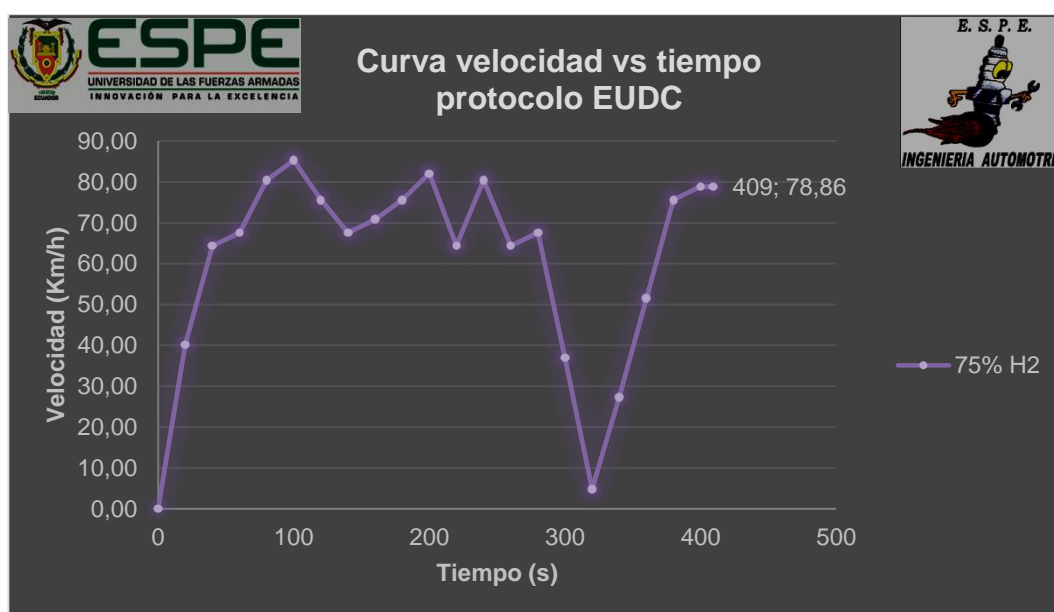


Figura 169. Protocolo EUDC con inyección 75% de hidrógeno curva velocidad vs consumo

En la figura 170 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando con la adición del 75% de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia de 6.95 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,51 litros, de tal manera el consumo aumenta y disminuye irregularmente por los picos de la gráfica siendo positivos y negativos respectivamente cumpliendo la ruta hasta la llegada al destino específico.

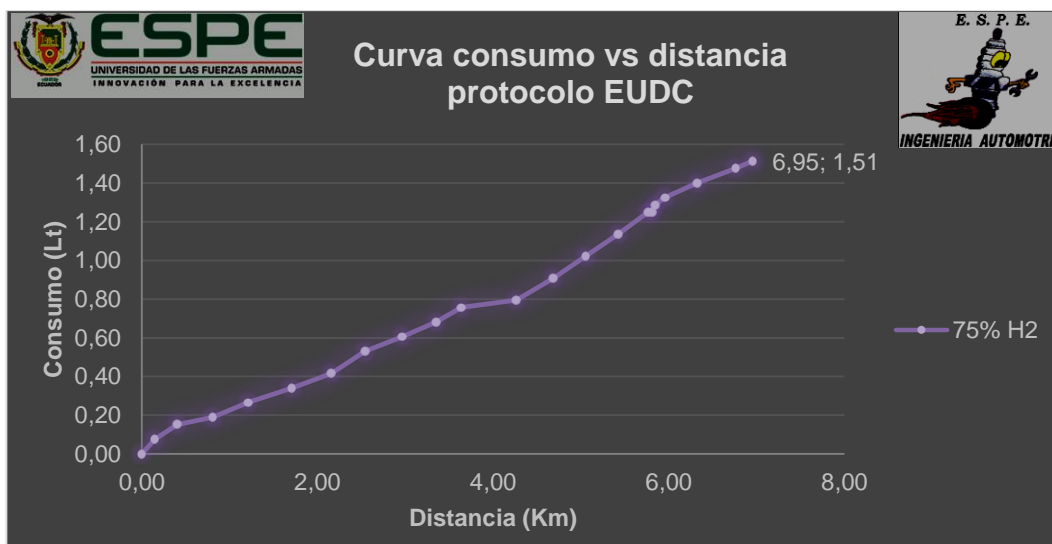


Figura 170. Protocolo EUDC con inyección 75% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Inyección del 100% de hidrógeno

Los datos obtenidos de la prueba de consumo de combustible basada en el protocolo ECE-15 con el motor trabajando con la inyección del 100% de hidrógeno se registran en la tabla 46 las cuatro etapas primeras con las mismas condiciones, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor en grados Celsius y Fahrenheit.

Tabla 46.

Datos obtenidos con inyección de 75% protocolo ECE-15 cuatro etapas

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.08	0.13	0.01	0.04	21	33.80	185	85.00
40	0.19	0.31	0.03	0.11	25	40.23	187	86.11
60	0.32	0.51	0.04	0.15	27	43.45	189	87.22

CONTINÚA



80	0.47	0.76	0.06	0.23	26	41.84	187	86.11
100	0.62	1.00	0.08	0.30	10	16.09	185	85.00
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.09	0.14	0.02	0.08	24	38.62	187	86.11
40	0.18	0.29	0.03	0.11	17	27.36	187	86.11
60	0.32	0.51	0.05	0.19	27	43.45	187	86.11
80	0.46	0.74	0.07	0.26	26	41.84	187	86.11
101	0.62	1.00	0.09	0.34	21	33.80	187	86.11
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.08	0.13	0.02	0.08	25	40.23	185	85.00
40	0.21	0.34	0.03	0.11	24	38.62	187	86.11
60	0.35	0.56	0.05	0.19	19	30.58	185	85.00
80	0.42	0.68	0.06	0.23	2	3.22	185	85.00
100	0.43	0.69	0.07	0.26	0	0.00	185	85.00
120	0.43	0.69	0.07	0.26	0	0.00	185	85.00
140	0.43	0.69	0.08	0.30	0	0.00	185	85.00
160	0.53	0.85	0.1	0.38	27	43.45	185	85.00
173	0.62	1.00	0.11	0.42	11	17.70	187	86.11
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.07	0.11	0.01	0.04	23	37.01	185	85.00
40	0.2	0.32	0.03	0.11	23	37.01	185	85.00
60	0.32	0.51	0.05	0.19	24	38.62	187	86.11
80	0.46	0.74	0.07	0.26	21	33.80	187	86.11
110	0.62	1.00	0.09	0.34	20	32.19	187	86.11

En la figura 171 se expone la curva de velocidad vs tiempo cuando el motor está trabajando con la inyección del 100% de la capacidad máxima del generador de hidrógeno donde se verifica que la velocidad no excede los 50 Km/h regido por el protocolo ECE-15 en las cuatro etapas de esta ruta, siendo el tiempo de la prueba de 484 segundos en todas las etapas, existen aumentos y descensos de velocidad marcado en cada color el inicio y fin de

cada etapa con detenciones totales en cada una de ellas, representando un estilo común de manejo en una ruta urbano donde se aprecia que el vehículo tiene detenciones por motivo de tráfico, semáforos y señales de tránsito, terminando la prueba con una caída de velocidad simulando la llegada a un destino específico.

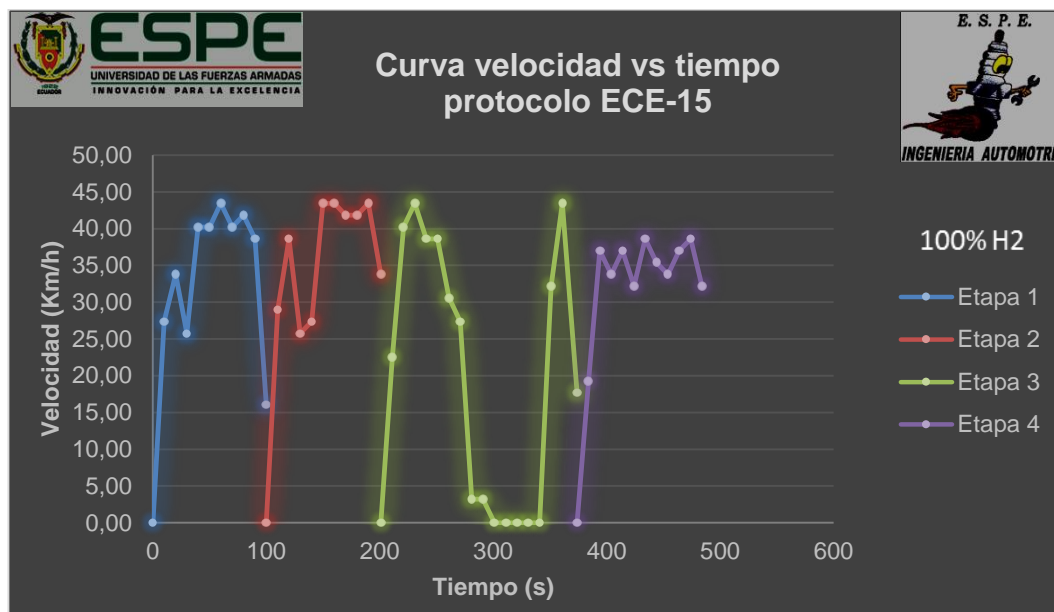


Figura 171. Protocolo ECE-15 con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

La curva consumo vs distancia se presenta en la figura 172 con el motor adicionado 100% de generación de hidrógeno donde se revela la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva creciente donde se verifica la distancia 4,00 kilómetros regido por el protocolo ECE-15 en el total de las cuatro etapas dividiéndolo en 4 partes para cada etapa, mostrando el consumo de combustible obtenido en dicha distancia 1.36 litros acumulado obteniendo valores independientes de 0.30 litros en la primera etapa, 0.34 litros en la segunda etapa, 0,42 litros en la tercera etapa y 0.34 litros en la cuarta etapa, con un valor promedio de 0.35 litros constatando que el consumo aumenta irregularmente según se cumple la llegada al destino específico.

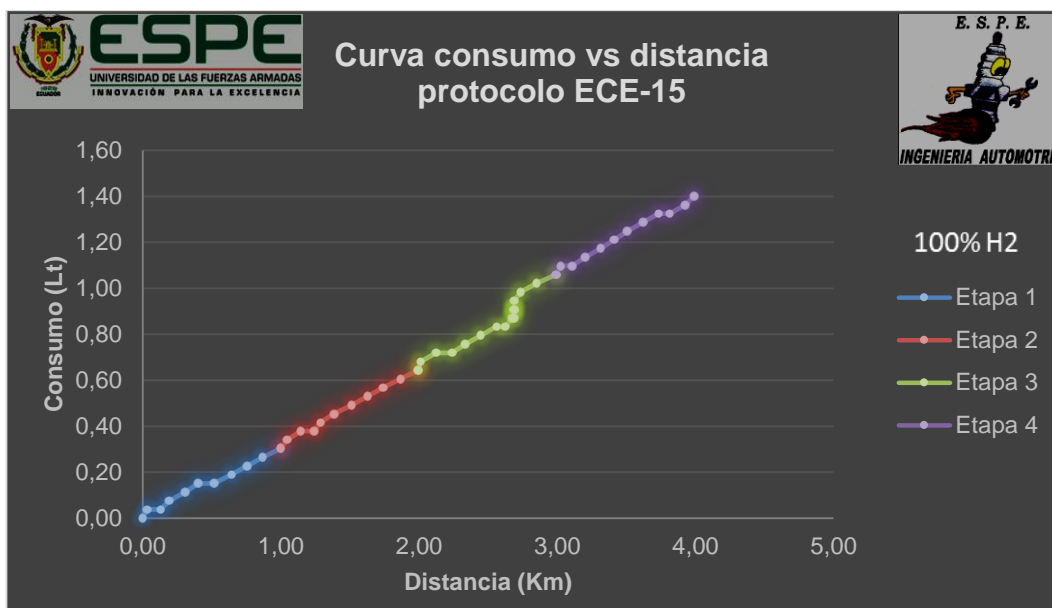


Figura 172. Protocolo ECE-15 con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia

Los datos obtenidos de la quinta etapa de la prueba el protocolo de consumo de combustible EUDC con el motor trabajando con hidrógeno al 100% se registran los valores obtenidos en la tabla 47, presentando la distancia recorrida de la ruta asignada en millas y kilómetros, la velocidad de conducción con la que se ejecutó dicha ruta en millas/hora y kilómetros/hora, el consumo de combustible obtenido de la prueba en galones y litros, también el tiempo total transcurrido en segundos y la temperatura de trabajo del motor.

Tabla 47.

Datos obtenidos con inyección de 100% protocolo EUDC quinta etapa

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
40	0.38	0.61	0.04	0.15	45	72.42	187	86.11
80	0.97	1.56	0.08	0.30	56	90.12	183	83.89
120	1.52	2.45	0.14	0.53	48	77.25	187	86.11
160	2.11	3.40	0.19	0.72	55	88.51	185	85.00
200	2.68	4.31	0.24	0.91	53	85.30	185	85.00
240	3.23	5.20	0.31	1.17	48	77.25	187	86.11

CONTINÚA



280	3.7	5.95	0.36	1.36	47	75.64	189	87.22
320	4.26	6.86	0.38	1.44	45	72.42	183	83.89
326	4.32	6.95	0.38	1.44	40	64.37	181	82.78

Con motor trabajando con hidrógeno al 100% de su capacidad máxima se muestran en la figura 173 la curva de velocidad vs tiempo donde se verifica que la velocidad no excede los 120 Km/h regido por el protocolo de prueba EUDC, donde durante el tiempo de la prueba de 326 segundos, revelando variaciones positivas y negativas de velocidad siendo una ruta de carretera y cumpliendo un ciclo de manejo donde la velocidad es constante en su mayor parte de tiempo, terminando la prueba con velocidad media.

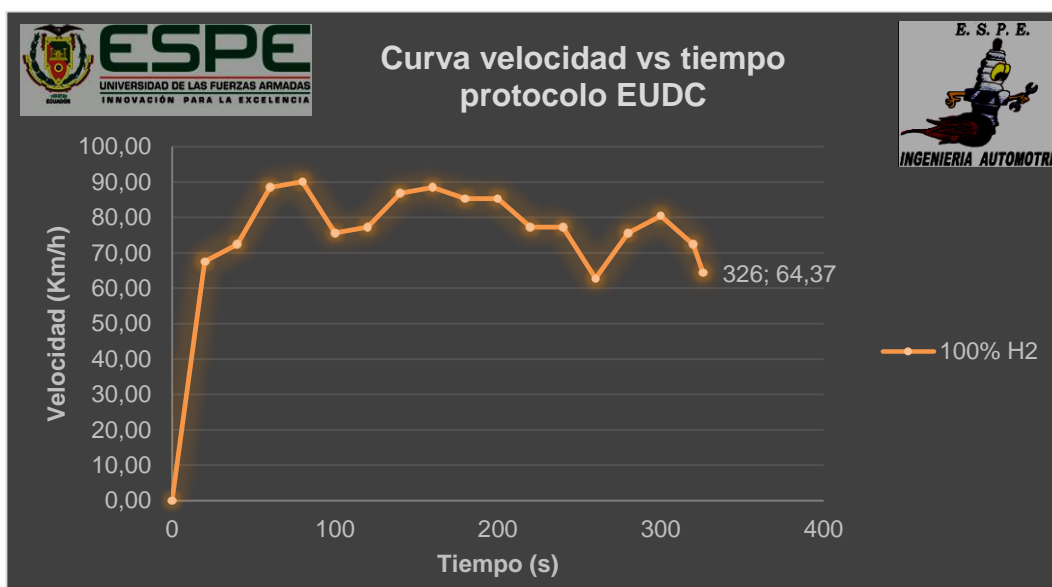


Figura 173. Protocolo EUDC con inyección 100% de hidrógeno curva velocidad vs tiempo

En la figura 174 se presenta la curva de consumo vs distancia con motor trabajando con la adición del 100% de hidrógeno donde se muestra la distancia recorrida en el eje de las abscisas y el consumo de combustible en el eje de las ordenadas, indicando una curva ascendente donde se presenta la distancia de 6.95 kilómetros y el consumo de combustible obtenido en dicha distancia de 1,44 litros, de tal manera el consumo aumenta y disminuye irregularmente por los picos de la gráfica siendo positivos y negativos respectivamente cumpliendo la ruta hasta la llegada al destino específico.

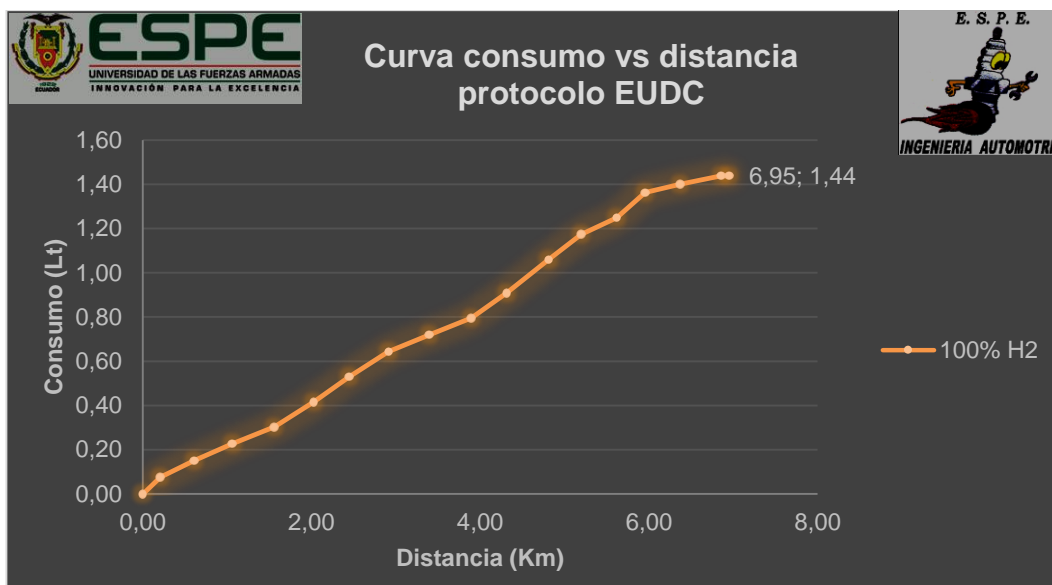


Figura 174. Protocolo EUDC con inyección 100% de hidrógeno curva consumo vs distancia

- Resumen estadístico del protocolo ECE-15+EUDC

En la comparación de los resultados obtenidos con motor estándar y con inyección de 25%, 50% 75% y 100% de hidrógeno se analizaron de forma individual tres puntos importantes, el tiempo total en el que se realizó el protocolo de consumo de combustible, el consumo de combustible y la variación del mismo.

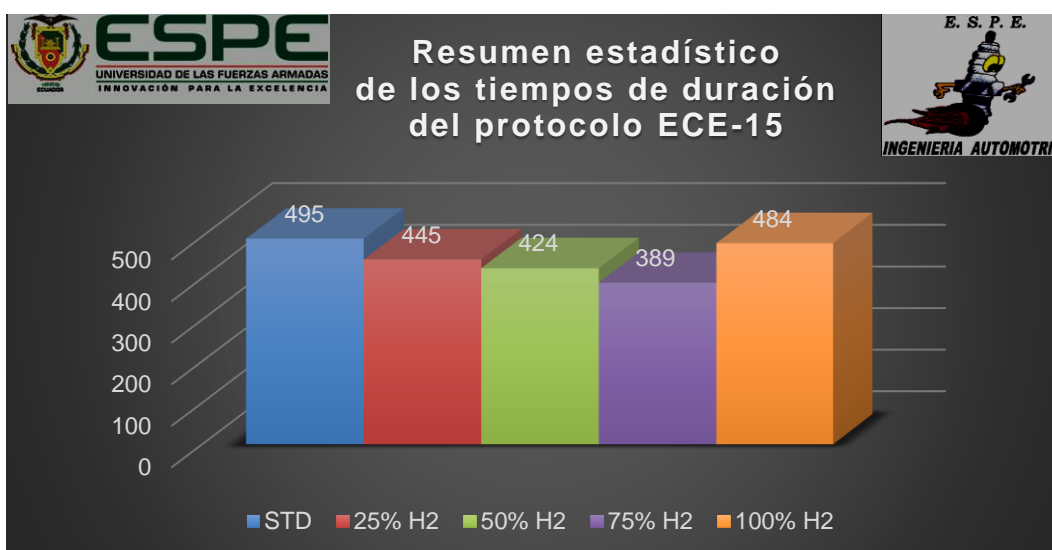


Figura 175. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo ECE-15

En la figura 175 se compara el tiempo total en segundos que se terminó la ruta asignada para el protocolo ECE-15 a diferentes condiciones, realizando un valor promedio de las cuatro primeras etapas similares. Tomando en cuenta que el tiempo referencial es el obtenido con motor estándar, el tiempo de la prueba con inyección del 25% de hidrógeno disminuye en un 10,10%, el tiempo de la prueba con inyección del 50% de hidrógeno disminuye en un 14,34%, el tiempo de la prueba con inyección del 75% de hidrógeno disminuye en un 21,41% y el tiempo de la prueba con inyección del 100% de hidrógeno disminuye en un 2,22%.

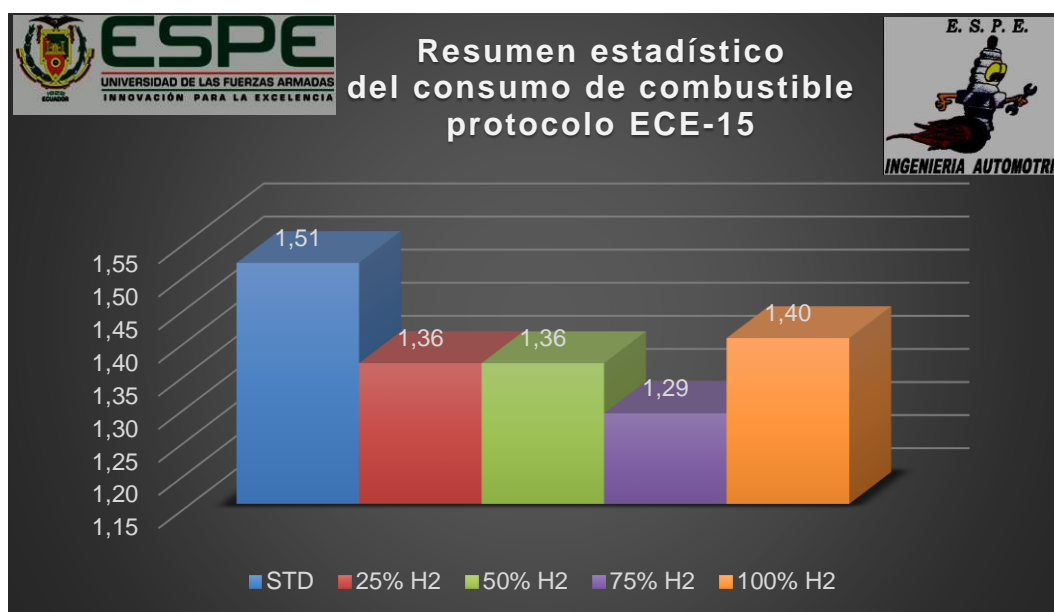


Figura 176. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo ECE-15

En la figura 173 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables con la inyección de hidrógeno, teniendo como el valor más alto en la condición de motor estándar con 1,51 litros de consumo, seguidos de los valores de 1,40 litros con inyección del 100% de hidrógeno, 1,36 litros con inyección del 25% y 50% de hidrógeno y el resultado más bajo y significativo obtenido es de 1,29 litros con inyección del 75% de hidrógeno existiendo una variación de 0,22 litros entre la más baja y alta.

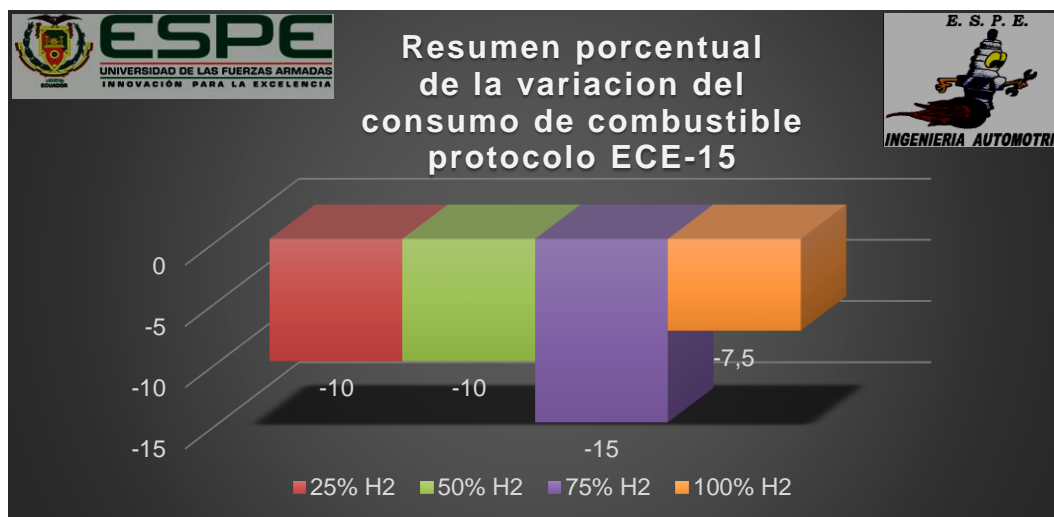


Figura 177. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo ECE-15

En la figura 177 se expone la variación porcentual que existe entre el consumo de combustible al trabajar con motor estándar y con la inyección de hidrógeno a diferentes proporciones, obteniendo una disminución del consumo de combustible en cada una de ellas, con la inyección de hidrógeno del 25% se obtuvo un ahorro del 10%, del 50% se obtuvo un ahorro del 10%, del 75% se obtuvo un ahorro del 15% siendo esta la más destacada, y finalmente con un ahorro del 7,5% con la inyección del 100% de hidrógeno.

- Resumen estadístico de la quinta etapa EUDC

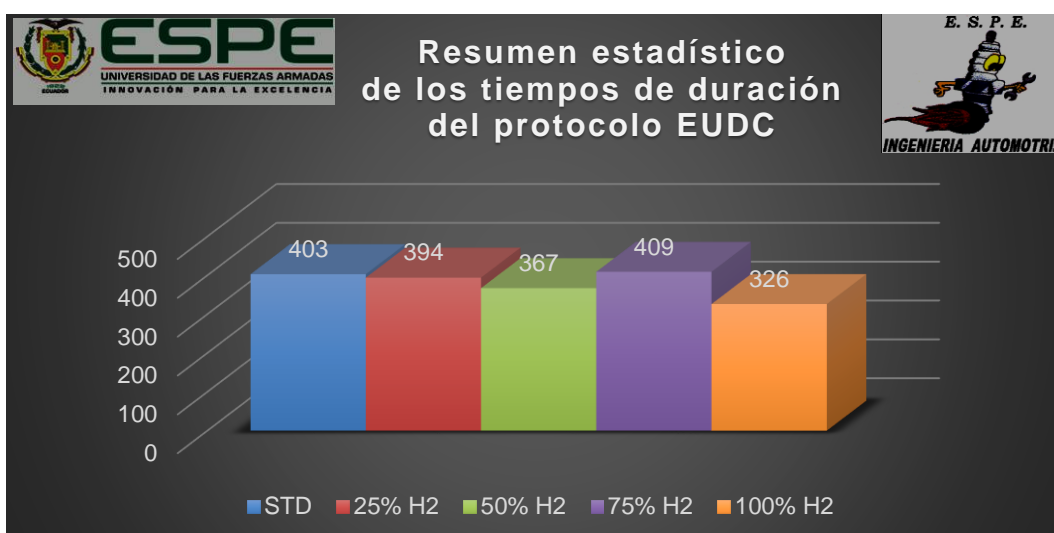


Figura 178. Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo EUDC

En la figura 178 se compara el tiempo total en segundos que se terminó la ruta asignada para la quinta etapa EUDC a diferentes condiciones. Tomando en cuenta que el tiempo referencial es el obtenido con motor estándar, el tiempo de la prueba con inyección del 25% de hidrógeno disminuye en un 2,23%, el tiempo de la prueba con inyección del 50% de hidrógeno disminuye en un 8,93%, el tiempo de la prueba con inyección del 75% de hidrógeno aumenta en un 1,49% y el tiempo de la prueba con inyección del 100% de hidrógeno disminuye en un 19,11%.

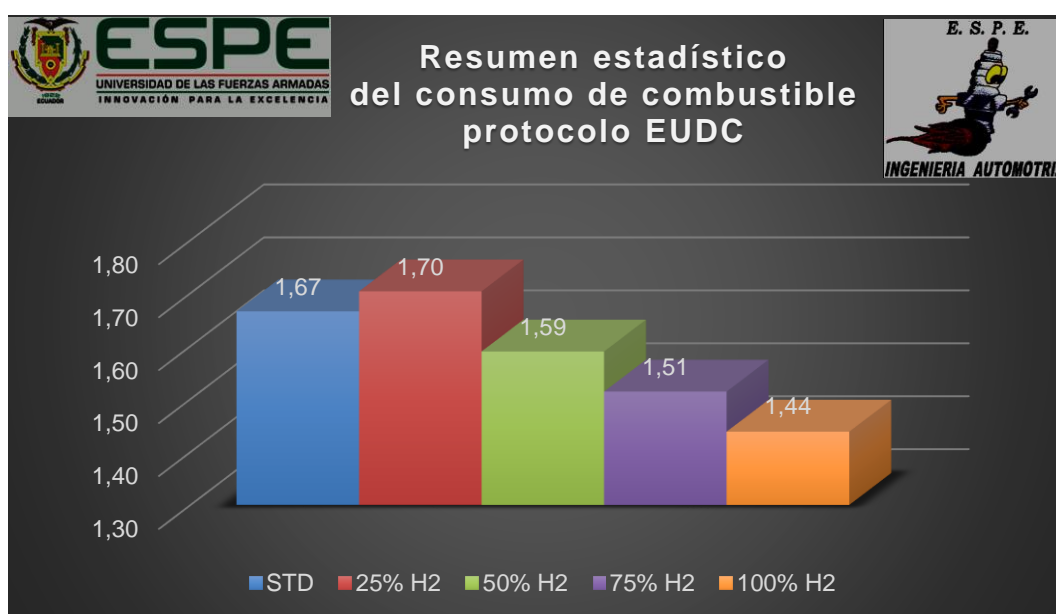


Figura 179. Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo EUDC

En la figura 179 se presenta el consumo de combustible obtenido en cada condición que se aplicó al motor diésel obteniendo resultados positivos y favorables en la mayoría de los casos con la inyección de hidrógeno, teniendo como la más alta la condición a motor estándar con 1,67 litros de consumo, seguidos de los valores de 1,59 litros con inyección del 50% de hidrógeno, 1,51 litros con inyección del 75% de hidrógeno y el resultado más bajo y significativo obtenido es de 1,44 litros con inyección del 100% de hidrógeno existiendo una variación de 0,23 litros entre la más baja y alta. El resultado al 25% de inyección de hidrógeno no fue tan favorable ya que aumento 0.03 litros del valor referencial.

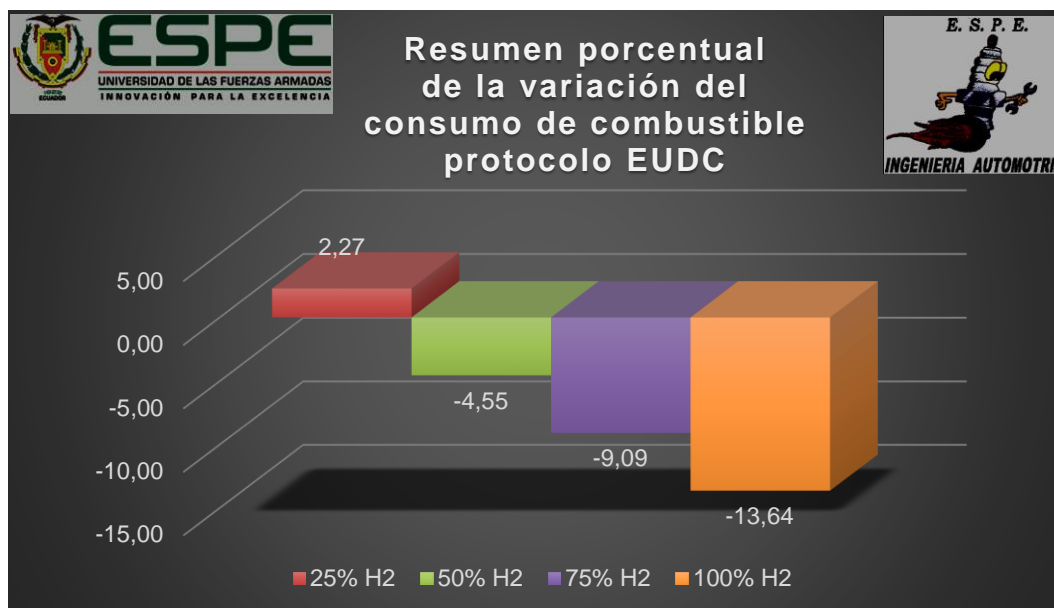


Figura 180. Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo EUDC

En la figura 180 se expone la variación porcentual que existe entre el consumo de combustible al trabajar con motor estándar y con la inyección de hidrógeno a diferentes proporciones, obteniendo una disminución del consumo de combustible en la mayoría de ellas tomando como valor referencial cuando el motor se encontraba en su condición de estándar, con la inyección de hidrógeno del 25% se obtuvo un aumento del 2,27%, del 50% se obtuvo un ahorro del 4,55%, del 75% se obtuvo un ahorro del 9,09% y siendo la más destacada un ahorro del 13,64% con la inyección del 100% de hidrógeno.

4.3 Cálculo de los parámetros técnicos del motor

Para realizar los cálculos a continuación se los realiza con datos obtenidos con motor trabajando de manera estándar y con inyección del 100% de hidrógeno respectivamente, para dicho desarrollo se toman datos técnicos del combustible diésel de las investigaciones de Asas Chicaiza & Erazo, (2017), y Villacís & Burgos, (2016), los cuales son densidad " ρ_{diesel} " con un valor de $831 \frac{Kg}{m^3}$ y el poder calorífico neto del diésel " Q_{Neto} " con un valor de $42,7817 \frac{MJ}{Kg}$ respectivamente.

4.3.1 Cálculos de los parámetros técnicos del motor estándar

El cálculo de la velocidad angular se obtuvo mediante la ecuación 4 donde el dato \bar{N} es tomado de la figura 84 que representa las revoluciones por minuto en las que se registró la potencia obtenida con el motor trabajando de manera estándar.

$$\omega = \frac{2 * \pi * \bar{N}}{60}$$

$$\omega = \frac{2 * \pi * 2900 \text{ rpm}}{60 \text{ s}}$$

$$\omega = 303,69 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El caudal de combustible fue calculado mediante la ecuación 5 donde el volumen puesto a prueba (consumo en litros del protocolo FTP75) y el tiempo de consumo en segundos es tomado de la tabla 23.

$$\dot{V}_c = \frac{V_P}{t}$$

$$\dot{V}_c = \frac{4,73 \text{ lt}}{955 \text{ s}} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} * 3600 \text{ s}$$

$$\dot{V}_c = 0,0178 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El consumo volumétrico de aire teórico es calculado con la ecuación 6 donde el diámetro y carrera del motor son tomados de la tabla 15.

$$VD = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * (s) * (i) * \left(\frac{\bar{N}}{60 * Ki} \right)$$

$$VD = \left(\frac{\pi * (0,0954 \text{ m})^2}{4} \right) * (0,1049 \text{ m}) * (4) * \left(\frac{2900 \text{ rpm}}{60 * 2} \right)$$

$$VD = 0,0725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \rightarrow 0,001208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El consumo másico de combustible es calculado utilizando la ecuación 7.

$$\begin{aligned}\dot{m}_c &= \dot{V}_c * \rho_{diesel} \\ \dot{m}_c &= 0,0178 \frac{m^3}{h} * 831 \frac{Kg}{m^3} \\ \dot{m}_c &= \mathbf{14,79 \frac{Kg}{h}}\end{aligned}$$

El consumo másico de aire se calculó utilizando la ecuación 8 donde la relación aire-combustible “RAF” se presenta en la figura 84.

$$\begin{aligned}RAF &= \frac{m_a}{\dot{m}_c} \\ m_a &= RAF * \dot{m}_c \\ m_a &= 8,032 * 14,79 \frac{Kg}{h} \\ m_a &= \mathbf{118,79 Kg/h}\end{aligned}$$

La densidad del aire para motores sobrealimentados ($P_a = 0,9 * P_s$) es calculada mediante la ecuación 10, donde la presión de admisión P_a se toma de la ecuación 9 y la presión de sobrealimentación P_s se presenta en la de la figura 84.

$$\begin{aligned}\rho_{as} &= \frac{P_a}{P_o} * \rho_o \\ \rho_{as} &= \frac{0,9 * P_s}{P_o} * \rho_o \\ \rho_{as} &= \frac{0,9 * 5,788 Psi}{1 atm} * \frac{1 atm}{14,7 Psi} \left(0,867 \frac{Kg}{m^3}\right) \\ \rho_{as} &= \mathbf{0,307 \frac{Kg}{m^3}}\end{aligned}$$

Nota: se realizaron los cálculos a una presión atmosférica de 1 atm correspondiendo que la medición de torque y potencia fueron medidas con unas condiciones atmosféricas a nivel del mar.

La eficiencia volumétrica es calculada utilizando la ecuación 11.

$$n_v = \frac{m_a}{VD * \rho_{as}}$$

$$n_v = \frac{118,79 \frac{Kg}{h} * \frac{1 h}{60 min}}{0,0725 \frac{m^3}{min} * 0,307 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$n_v = \mathbf{88,95 \%}$$

El consumo específico de combustible se calcula mediante la ecuación 12.

$$CEC = \frac{m_c}{P_f}$$

$$CEC = \frac{14,79 \frac{Kg}{h}}{104,91 kW}$$

$$CEC = \mathbf{0,14 \frac{Kg}{kW * h}}$$

La presión media del ciclo se calcula utilizando la ecuación 13.

$$P_{mc} = \frac{T}{Vh} * i$$

$$P_{mc} = \frac{254,7 Lb * ft * \frac{1,35582 N * m}{1 Lb * ft}}{0,000750 m^3} * 4$$

$$P_{mc} = \mathbf{1841745,888 Pa \rightarrow 18,42 bar}$$

El rendimiento térmico se calcula con la ecuación 14.

$$n_t = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1) * (k - 1)}{P_a * \varepsilon^k * k * (\rho - 1)}$$

$$n_t = 1841745,888 Pa * \frac{(18,3 - 1) * (1,41 - 1)}{101324,9966 Pa * 18,3^{(1,41)} * 1,41 * (4 - 1)}$$

$$n_t = \mathbf{50,6 \%}$$

El rendimiento mecánico se calcula utilizando la ecuación 15.

$$nm = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia indicada}}$$
$$nm = \frac{106,8 \text{ hp}}{134 \text{ hp}}$$
$$nm = 79,7 \%$$

El rendimiento indicado se calcula con la ecuación 16.

$$ni = \frac{nt}{nm}$$
$$ni = \frac{0,506}{0,797} * 100$$
$$ni = 63,49 \%$$

4.3.2 Cálculos de los parámetros técnicos del motor adicionado hidrógeno al 100% correspondiente a 4 litros/minuto

El cálculo de la velocidad angular se obtuvo mediante la ecuación 4 donde el dato \bar{N} es tomado de la figura 92 que representa las revoluciones por minuto en las que se registró la potencia obtenida con la inyección del 100 % de hidrógeno.

$$\omega = \frac{2 * \pi * \bar{N}}{60}$$
$$\omega = \frac{2 * \pi * 2900 \text{ rpm}}{60 \text{ s}}$$
$$\omega = 303,69 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El caudal de combustible fue calculado mediante la ecuación 5 donde el volumen puesto a prueba (consumo en litros del protocolo FTP75) y el tiempo de consumo en segundos es tomado de la tabla 31.

$$\dot{V}_C = \frac{V_P}{t}$$

$$\dot{V}_c = \frac{3,86 \text{ lt}}{967 \text{ s}} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$\dot{V}_c = 0,0144 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El consumo volumétrico de aire teórico es calculado con la ecuación 6 donde el diámetro y carrera del motor son presentados de la tabla 15.

$$VD = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * (s) * (i) * \left(\frac{\bar{N}}{60 * Ki} \right)$$

$$VD = \left(\frac{\pi * (0,0954 \text{ m})^2}{4} \right) * (0,1049 \text{ m}) * (4) * \left(\frac{2900 \text{ rpm}}{60 * 2} \right)$$

$$VD = 0,0725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \rightarrow 0,001208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El consumo másico de combustible es calculado utilizando la ecuación 7.

$$\dot{m}_c = \dot{V}_c * \rho_{diesel}$$

$$\dot{m}_c = 0,0144 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 831 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_c = 11,97 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

El consumo másico de aire se calculó utilizando la ecuación 8 donde la relación aire-combustible "RAF" se presenta en la figura 92.

$$RAF = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

$$\dot{m}_a = RAF * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a = 8,032 * 11,94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_a = 95,9 \text{ Kg/h}$$

La densidad del aire para motores sobrealimentados ($P_a = 0,9 * P_s$) es calculada mediante la ecuación 10, donde la presión de admisión P_a se toma

de la ecuación 9 y la presión de sobrealimentación P_s se presenta en la de la figura 92.

$$\rho_{as} = \frac{P_a}{P_o} * \rho_o$$

$$\rho_{as} = \frac{0,9 * P_s}{P_o} * \rho_o$$

$$\rho_{as} = \frac{0,9 * 5,392 \text{ Psi}}{1 \text{ atm}} * \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ Psi}} \left(0,867 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\rho_{as} = \mathbf{0,2862 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

Nota: se realizaron los cálculos a una presión atmosférica de 1 atm correspondiendo que la medición de torque y potencia fueron medidas con unas condiciones atmosféricas a nivel del mar.

La eficiencia volumétrica es calculada utilizando la ecuación 11.

$$n_v = \frac{m_a}{VD * \rho_{as}}$$

$$n_v = \frac{95,9 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}{0,0725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 0,2862 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$n_v = \mathbf{77,03 \%}$$

El consumo específico de combustible se calcula mediante la ecuación 12.

$$CEC = \frac{\dot{m}_c}{P_f}$$

$$CEC = \frac{11,94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{107,38 \text{ kW}}$$

$$CEC = \mathbf{0,11 \frac{\text{Kg}}{\text{kW} * \text{h}}}$$

La presión media del ciclo se calcula utilizando la ecuación 13

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$
$$P_{mc} = \frac{260,7 \text{ Lb} * \text{ft} * \frac{1,35582 \text{ N} * \text{m}}{1 \text{ Lb} * \text{ft}}}{0,000750 \text{ m}^3} * 4$$
$$P_{mc} = 1885132,128 \text{ Pa} \rightarrow 18,85 \text{ bar}$$

El rendimiento térmico se calcula con la ecuación 14.

$$nt = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1) * (k - 1)}{P_a * \varepsilon^k * k * (\rho - 1)}$$
$$nt = 1885132,128 \text{ Pa} * \frac{(18,3 - 1) * (1,41 - 1)}{101324,9966 \text{ Pa} * 18,3^{(1,41)} * 1,41 * (4 - 1)}$$
$$nt = 51,77 \%$$

El rendimiento mecánico se calcula utilizando la ecuación 15.

$$nm = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia indicada}}$$
$$nm = \frac{109,5 \text{ hp}}{134 \text{ hp}}$$
$$nm = 81,71 \%$$

El rendimiento indicado se calcula con la ecuación 16.

$$ni = \frac{nt}{nm}$$
$$ni = \frac{0,518}{0,817} * 100$$
$$ni = 63,4 \%$$

Tabla 48

Resumen de los parámetros técnicos del motor

Muestra	Solo diésel	Hidrógeno 25%	Hidrógeno 50%	Hidrógeno 75%	Hidrógeno 100%
Potencia (hp)	140,7	142,6	143,4	143,7	144
Torque (lb * ft)	254,7	258,3	259,8	260,3	260,7
Caudal de combustible ($\frac{m^3}{h}$)	0,01783	0,01697	0,016	0,0151	0,0144
Consumo máximo de combustible (Kg/h)	14,817	14,099	13,337	12,547	11,942
Consumo máximo de aire (Kg/h)	119,01	113,244	107,127	100,78	95,915
Densidad del aire MCI sobrealimentados (Kg/m^3)	0,307	0,303	0,3	0,287	0,286
Presión del turbo (Psi)	5,788	5,710	5,652	5,413	5,392
Eficiencia volumétrica (%)	89,07	85,91	82,1	80,65	77,05
Consumo específico de combustible $\frac{Kg}{KW*h}$	0,141	0,132	0,125	0,117	0,111
Presión media del ciclo (Kpa)	1841,745	1867,777	1878,624	1882,239	1885,132
Rendimiento térmico (%)	50,57	51,29	51,59	51,69	51,77
Rendimiento mecánico (%)	79,7	79,77	80,6	81,64	81,72
Rendimiento indicado (%)	63,45	64,29	64	63,31	63,35

En la figura 181 se presenta el resumen porcentual del rendimiento térmico, eficiencia volumétrica, rendimiento mecánico y rendimiento indicado que fueron calculados a partir de los datos obtenidos en las pruebas experimentales, obteniendo como resultado rendimientos aceptables y favorables siendo el más representativo con la inyección de 100% de hidrógeno obteniendo un aumento de 1,19% en rendimiento térmico, un

aumento de 2,02% de rendimiento mecánico y una disminución de 12,01% en rendimiento volumétrico y 0,11% en rendimiento indicado.

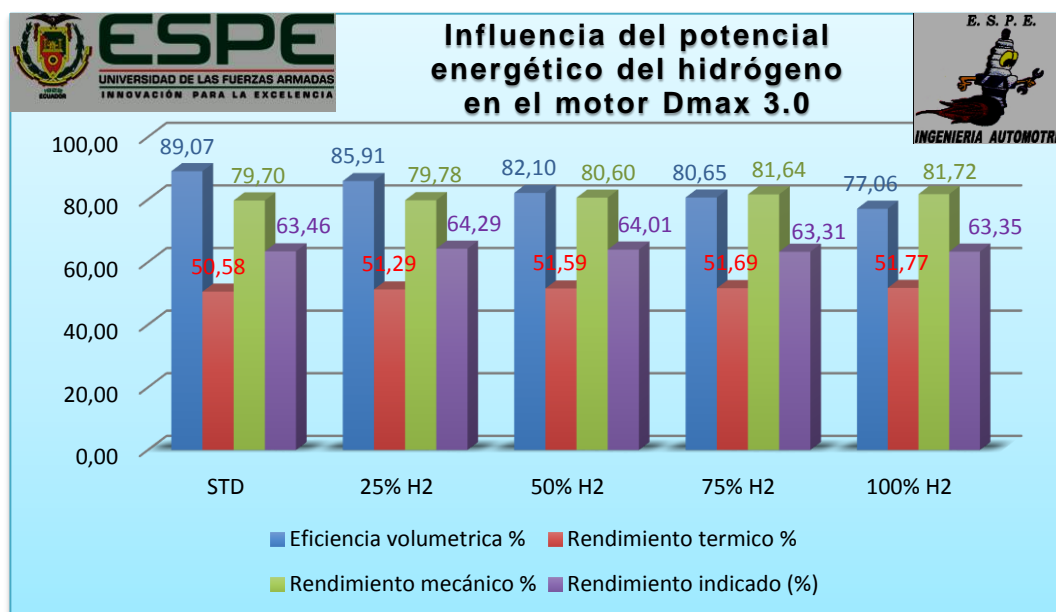


Figura 181. Influencia del potencial energético del hidrógeno en el motor Dmax 3.0

Conclusiones del capítulo

- Con la inyección de hidrógeno al 100% se obtuvo resultados favorables en cada prueba realizada lo que determina que matemáticamente existe aumento notable en cada parámetro técnico calculado del motor.
- Al realizar la prueba de consumo de combustible FTP-75 se puede determinar el caudal de combustible en función del combustible consumido en cierta cantidad de tiempo, en motor estándar se obtuvo un caudal de $0,01725 \frac{m^3}{min}$ y con inyección del 100% de hidrógeno $0,0144 \frac{m^3}{min}$ obteniendo una reducción del 16,52%.
- El cálculo de los diferentes parámetros técnicos del motor varían con cada dato obtenido en condición de motor estándar y con inyección al 100% de hidrógeno, los resultados que se mantuvieron estables son la velocidad angular y consumo volumétrico de aire teórico ya que dichos valores son calculados con las especificaciones técnicas del motor.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

Los aspectos económicos tanto como administrativos del proyecto de investigación detallan los parámetros relacionados con la factibilidad y la viabilidad de los recursos.

5.1 Factibilidad de la investigación

Los recursos materiales y humanos son necesarios para el desarrollo del proyecto y de esta manera cumplirlo con éxito, aportando a mejorar el estilo de vida de las personas en un futuro. De tal forma es necesario, preparar el presupuesto tomando en cuenta estos parámetros.

5.1.1 Recursos materiales

Los recursos materiales son los componentes que fueron empleados en el desarrollo del proyecto de investigación, los mismos que se detallan a continuación

Tabla 49.

Recursos materiales

Orden	Ítem
1	Agua destilada
2	Hidróxido de potasio
3	Mangueras
4	Racores
5	Generador de hidrógeno
6	Depósito
7	Cable N° 12
8	Módulo de control

5.1.2 Talento humano

El personal de apoyo para la investigación está integrado por:

Tabla 50.

Talento humano

Grupo de talento de apoyo	Dario Borja	Investigadores
	Jhon Jara	Investigadores
	Alex Cevallos	Director del proyecto de titulación
	Germán Erazo	Docente investigador
	Leonidas Quiroz	Jefe de Laboratorio Mecánica de patio (Medición análisis de gases)
	José Quiroz	Jefe Laboratorio Autotrónica (Uso de instrumentación)

5.1.3 Recursos financieros

El financiamiento de la investigación es de recursos propios de los investigadores, siendo el costo total de \$2581.10 cuyo valor se detalla a continuación en las tablas siguientes, las cuales se dividen en costo de producción de hidrógeno, pruebas realizadas, materiales e insumos adicionales.

Tabla 51.

Gastos producción de hidrógeno

Gastos producción de hidrógeno				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Generador de hidrógeno	1	300.00	300.00
2	Deposito	1	50.00	50.00
3	Agua destilada	3lt	1.00	3.00
4	Hidróxido de potasio	100gr	5.00	20.00
TOTAL				372.00

Producir hidrógeno tiene un costo total de \$372,00 el valor está contemplado el generador de hidrógeno además de los elementos de producción como agua destilada con su electrolito (hidróxido de potasio), para la generación sin contar con el equipo de generación tiene un costo de \$23,00 que tendría un uso aproximado de 6 meses usándolo diariamente.

Tabla 52.

Gastos pruebas realizadas

Gastos pruebas realizadas				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Pruebas torque y potencia	5	100.00	500.00
2	Pruebas de opacidad	15	0	0
3	Pruebas de gases	60	0	0
4	Pruebas de consumo de combustible	15	0	0
TOTAL				500.00

Las pruebas realizadas tuvieron un costo de \$500,00, cuyo valor es exclusivo de las pruebas de torque y potencia ya que se las realizó en un dinamómetro privado, las pruebas de opacidad, gases y consumo de combustible no tuvieron costo ya que fueron realizadas con equipos propios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Tabla 53.

Gastos materiales e insumos utilizados

Gastos materiales				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Mangueras	5	5.00	25.00
2	Cable	10	0.80	8.00
3	Taipe	3	0.50	1.50
4	Guaipe	1	1.00	1.00
5	madera	1	10.00	10.00

CONTINÚA



6	Vinilo fibra de carbono	1	25.00	25.00
7	Elementos electrónicos	10	2.00	20.00
8	Ventilador	1	5.00	5.00
9	Multímetro	1	35.00	35.00
10	Voltímetro	1	8.00	8.00
11	Aseguradores	2	1.00	2.00
12	Pernos	6	0.30	1.80
13	Embudo	1	3.00	3.00
14	Guantes	2	5.00	10.00
15	PWM	1	80.00	80.00
16	Protector plástico cables	2	3.00	6.00
17	Diésel	60gal	1.03	61.80
18	Juego neplos	1	10.00	10.00
19	Abrazaderas plásticas	25	0.20	5.00
20	Peajes camioneta D-Max	6	1.00	6.00
21	Filtro maquina AGS	5	13.00	65.00
22	Mantenimiento D-Max	1	100.00	100.00
23	Alquiler del vehículo	4	100.00	400.00
24	Viáticos (almuerzos, pasajes) Dario Borja	50	7.00	350.00
25	Viáticos (almuerzos, pasajes) Jhon Jara	50	7.00	350.00
26	Gastos varios	1	100.00	100.00
TOTAL				1689.10

5.2 Título de la propuesta

Uso de hidrógeno como combustible complementario en la proporción de 4lt por minuto en motores diésel para reducir la opacidad de los gases y el consumo de combustible.

5.2.1 Estructura de la propuesta

La propuesta se encamina al uso de hidrógeno como combustible complementario a partir del agua destilada en la proporción de 4 litros por minuto o en la etapa de máxima generación de hidrógeno debido a la disminución de la opacidad de los gases de escape y consumo de combustible de esa manera aportar a la conservación del medio ambiente y conjuntamente a la sociedad.

5.2.2 Desarrollo de la propuesta

La propuesta requiere del talento humano, recursos financieros, humanos y materiales los cuales fueron presentados en el desarrollo de la investigación y el cual proporcione un costo de la utilización del hidrógeno.

El costo aproximado de la investigación tendría un valor de \$2561.10 en el cual no está contemplado el recurso humano.

5.2.3 Influencia socioeconómica de la propuesta

Se presenta a continuación un análisis económico acerca de la propuesta de implementar un generador de hidrógeno en la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI a partir del agua destilada, con lo cual se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

La implementación del generador de hidrógeno se estimó para una camioneta D-Max que recorre un valor promedio anual de 25000 kilómetros según Angulo, (2017), en su publicación, además del mantenimiento del generador de hidrógeno que se debe realizar cada 6 meses, planteando un análisis durante 5 años desde su instalación; cuyos gastos se detallaran a continuación.

Tabla 54.

Descripción costos implementación generador de hidrógeno

ITEM	COSTO
Generador de hidrógeno + deposito	350.00
Mangueras	10.00
Cable	1.60
Taipe	0.50
Aseguradores	1.00
Pernos	1.80
Protectores plásticos	3.00
Neplos	10.00
Abrazaderas plásticas	2.00
Talento humano	50.00
Total	429.90

En la tabla número 53 se detalla los costos que tiene la implementación del generador de hidrógeno en la camioneta tomando este valor como inversión inicial en nuestra propuesta.

Tabla 55.

Costos de operación del generador de hidrógeno

ÍTEM	INVERSIÓN INICIAL	VALOR UNITARIO	VALOR ANUAL
Implementación	429.90		
Mantenimiento generador de hidrógeno		20.00	40.00
Insumos generador de hidrógeno		23.00	46.00
Total			86.00

En la tabla 54 se visualiza el costo de mantenimiento del equipo teniendo en cuenta que se lo debe realizar 2 veces al año así también los gastos de agua destilada y electrolito que se aprecian en insumos cuyo costo anual es de \$46,00 teniendo un total de gato anual de \$86,00 para tener operacional correctamente el generador de hidrógeno.

Para definir los ingresos obtenidos al implementar el generador de hidrógeno se toma el ahorro en dólares de combustible generado por la inyección de hidrógeno, teniendo en cuenta que por cada 17.77 km recorrido tenemos un ahorro de 0.87 litros de diésel según el protocolo FTP-75 en su máxima capacidad de generación de hidrógeno, siendo tomando este valor por que fue el que mayor distancia se recorrido y sus datos son los más representativos detallado en la figura 140, con la distancia promedio anual que recorre un vehículo de este tipo de 25000 kilómetros se tiene un ahorro de 1223.97 litros de diésel convirtiéndose en 323.34 galones tomando el precio actual de \$1.03 por galón tenemos un ahorro de \$333.04 anuales.

Tabla 56.

Plan de costos y flujo de caja

AÑOS	0	1	2	3	4	5
Inversión	429.90					
Ingresos		333.04	333.04	333.04	333.04	333.04
Egresos		86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
Flujos	(429.90)	247.04	247.04	247.04	247.04	247.04

Se analiza una inversión para 5 años con la inversión inicial de \$429.90 siendo el costo de implementación del generador, los ingresos anuales son de \$333.04 provenientes del ahorro de combustible en dólares y finalmente los egresos son los costos que tiene mantener operacional el generador de hidrógeno el cual es de \$86.00; calculando el valor actual neto (VAN) empleando una tasa de descuento del 10% y la tasa interna de retorno (TIR) de la propuesta.

Obteniendo un VAN de \$460,53 siendo rentable ya que este valor es mayor a 0, y un TIR del 49.9% representando una rentabilidad alta.

The image shows a software interface for calculating NPV and IRR. It includes the following elements:

- Desembolso Inicial:** A text box containing the value **-429,90**.
- Tasa de Actualización porcentual:** A text box containing the value **10**.
- Flujos de Caja:** A list of 9 rows. The first five rows contain the value **247,04**. Below the list is a button labeled **Añadir Flujo**.
- Borrar Seleccionado:** A button located below the list of cash flows.
- Resultado:** A box containing the final calculations:
 - VAN:** **460,52**
 - TIR:** **49,9%**

Figura 182. Cálculo del VAN y TIR de la propuesta

Se analizó el periodo de recuperación de la inversión (PRI) con el cual se verificó en que tiempo exacto se recupera el valor de inversión del generador de hidrógeno en la camioneta, con la inversión de \$429,90 se evidenció que en el segundo periodo ya se recupera lo invertido ya que suma entre los dos periodos \$429.08, entonces retrocedemos un periodo y restamos del valor total \$247.04 para el flujo de ese año obteniendo el valor de \$182.86, dividiendo este valor para el flujo del siguiente año que es de \$247.04 se obtuvo un resultado de 0.74 sumado el primer periodo tenemos que el PRI es 1.74, y corresponde a 1 año el valor entero, la parte decimal 0.74 se multiplica por 12 para obtener los meses obteniendo 8.88 resultando 8 meses, y la parte decimal 0.88 se multiplica por 30 días resultado 26.47. En general uniendo los resultados concluimos que la inversión se recupera en 1 año 8 meses y 27 días.

Conclusiones del capítulo

- Se presentó una propuesta para la implementación de un generador de hidrógeno en una camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI y un análisis a 5 años.
- La propuesta fue muy buena ya que obtuvo datos de inversión de \$429,90, ingresos de \$333.04 y egresos de \$86.00 obteniendo un VAN de \$460,53 y un TIR del 49.9% siendo una propuesta rentable.
- Se obtuvo de la propuesta un periodo de recuperación de la inversión de 1.74 correspondiente a 1 año 8 meses y 27 días.

CONCLUSIONES

- Se investigó el comportamiento mecánico y térmico del motor diésel de la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI con la implementación del generador de hidrógeno HE4-3500 al 25%, 50% ,75% y 100% de su capacidad máxima de funcionamiento, comportándose de la mejor manera en la etapa del 100% de su generación, con la producción de 4 litros por minuto.
- Se recopiló información confiable para el desarrollo de la investigación consiguiendo una base teórica firme, con el aporte de libros, artículos científicos, tesis, manuales, normas y fichas técnicas.
- Se fundamentó los requerimientos técnicos del sistema generador de hidrógeno para la obtención de 4 litros por cada minuto en su máxima capacidad con 12 voltios de alimentación y 20 amperios de consumo de corriente.
- La selección del generador de hidrógeno fue el equipo HE4-3500 que cumplió los requerimientos de la investigación con 8 placas ánodo-cátodo y 23 neutrales, una alimentación de 12 voltios y un consumo máximo aproximado de 20 A y la producción de 4 litros.
- Se implementó el generador de hidrógeno en la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI satisfactoriamente en la parte delantera del motor siendo el lugar adecuado para el llenado y revisión habitual del equipo.
- El suministro de hidrógeno al motor en sus diferentes etapas se las realizó mediante el módulo de control cuyo corazón fue el circuito PWM HHO RC – 10000137 el cual controlaba la corriente suministrada al generador de hidrógeno para obtener el 25%, 50%, 75% y 100% de su capacidad
- Se determinó que la proporción óptima es del 100% de la generación de hidrógeno, ya que elevó la potencia y el torque más que las otras proporciones, la opacidad en esta etapa obtuvo la mayor reducción así como los gases no fueron afectados mayormente, y en tanto al consumo de combustible en los tres protocolos de prueba se obtuvo el mejor resultado a la máxima inyección de hidrógeno.

- Se realizó las pruebas de rendimiento mecánico (torque y potencia) así también las pruebas de opacidad y análisis de gases de escape y las de consumo de combustible en todas las etapas de generación de hidrógeno.
- Se tabuló los resultados de las pruebas para obtener las curvas de comportamiento del motor, así como las gráficas comparativas de gases de escape y consumo de combustible.
- Las pruebas de potencia se realizó en el dinamómetro Dynamite 4400 2WD IO Chassis Dyno cuyos resultados fueron favorables en todas las etapas de inyección de hidrógeno, siendo el más representativo la etapa de 100% de generación de hidrógeno con un aumento de 3.3 HP de 140,7 HP en motor estándar a 144 HP con hidrógeno representando un aumento del 2,35%
- Se evidencio con la inyección del 100% de generación de hidrógeno el aumento del torque en un 2.36% referente al motor estándar subiendo 6 ft*lb de un valor de 254.7 ft*lb a 260.7 ft*lb en el dinamómetro.
- Las pruebas de opacidad que se realizó en el opacímetro Cartek dieron resultados positivos en la inyección de hidrógeno al 100%, tomando el valor promedio de 3 pruebas en cada etapa, se evidencio la disminución del 1.12% en motor estándar a 0.53% con hidrógeno representado esta reducción en el 53.12 %
- En las pruebas de gases de escape en el AGS-688 el monóxido de carbono descendió en todas las etapas de inyección de hidrógeno ya que aumenta la velocidad de llama siendo el más significativo en la etapa del 50% de hidrógeno con la disminución del 9.68% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 0.103 %vol a 0.093%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el CO disminuyó el 6.45% a un valor de 0.097%vol, siendo favorable ya que se disminuye los gases y se ayuda al medio ambiente.
- El dióxido de carbono sufrió alteraciones con la adición de hidrógeno disminuyendo en la etapa del 25% de hidrógeno con la disminución del 0.39% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 2.133

%vol a 2.125%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el dióxido de carbono aumentó su valor en un 3.12% a un valor de 2.200%vol, siendo este valor permisible y entrando en el rango estimado de aumento de emisiones de escape.

- Se analizó los hidrocarburos combustionados sufriendo un aumento en sus valores en todas las etapas, pero manteniéndose en el rango de ascenso planteado, siendo en la inyección del 100% de hidrógeno con el aumento de 3.75 ppm vol del valor referencial con motor estándar aumentando de 1.00 ppm vol a 4.75 ppm vol con hidrógeno.
- Los resultados obtenidos de hidrocarburos presentan un aumento notable siendo el más alto y significativo con 5,25 ppm volumen con 75% de inyección de hidrógeno, los datos de HC se registraron en un régimen de trabajo alto más de 3000 revoluciones por minuto esto hace que exista ausencia de oxígeno aumentando de tal manera los hidrocarburos.
- La medición de óxidos de nitrógeno presenta un aumento del 13,81% con una diferencia de 18.17 ppm vol en comparación con el resultado obtenido a motor estándar este incremento se debe a que con la presencia de hidrógeno en la cámara de combustión aumenta la velocidad de llama existiendo un lapso en el que existe compresión de gases combustionados con mayor temperatura y presión originándose de tal manera la cantidad de óxidos de nitrógeno
- La utilización del generador de hidrógeno en el motor diésel disminuye el oxígeno (O_2) en 1.17% al inyectar hidrógeno al 100% de su capacidad máxima reduciendo de un valor a otro 0.208% vol.
- El motor diésel no registra valores de lambda, mientras que al inyectar hidrógeno al 75% y 100% de su capacidad se registraron medidas de lambda a 3000 y 3500 rpm. Estos valores son mayores a 1 exactamente 4.818 lo cual indica que la mezcla aire combustible es pobre siendo una característica de la combustión y de la limpieza de los gases evacuados
- Existe una disminución de consumo de combustible mediante el protocolo FTP-75 el cual describe una ruta de carretera, siendo el valor

más representativo al inyectar 100% de hidrógeno disminuyendo 0.87 litros de diésel en 17.77km recorridos representando el ahorro de un 18.4% y con su prueba complementaria SFTP-SC03 tuvo un ahorro de 0.49 litros representando un 30.23% de ahorro en 5.8 km encendido el aire acondicionado.

- Al aplicar el protocolo NYCC tenemos un ahorro al inyectar 100% de hidrógeno en 0.15 litros representando una disminución del 19.05% en 1,89 km de recorrido, simulando así una prueba de consumo de combustible de característica urbana.
- En el protocolo de consumo de combustible ECE-15+EUDC se obtuvo un ahorro del 15% y 0.22 litros al inyectar 75% de hidrógeno al motor diésel siendo un valor promedio de cuatro etapas de 0.99 km de recorrido en zona urbana, el ahorro de combustible en la etapa seleccionada de 100% de hidrógeno fue de 7.5% o 0.11 litros siendo un valor muy bueno ya que ayuda a la sociedad y al medio ambiente, en la etapa de carretera EUDC al inyectar 100% de hidrógeno se ahorró un 13.64% de combustible siendo esto 0.23 litros en 6.95km de recorrido.
- Al calcular el consumo específico de combustible con los datos obtenidos del protocolo de consumo FTP-75 tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se presenta valores de $0,14 \frac{Kg}{KW*h}$ y $0,11 \frac{Kg}{KW*h}$ respectivamente presentando una disminución de combustible del 21.43% es decir se necesita menos combustible para realizar cierta cantidad de trabajo durante un tiempo específico.
- Al calcular el rendimiento térmico tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se obtuvieron resultados de 50,57% y 51,77% respectivamente obteniendo un aumento del 1,2% siendo un resultado favorable ya que se aprovecha más cantidad de calor para realizar trabajo, teniendo en cuenta que dicho cálculo está en función del consumo de combustible realizado bajo el protocolo FTP-75.
- Se obtuvo el rendimiento mecánico en las condiciones de trabajo para el motor en manera estándar y con inyección de hidrógeno del 100% se calculó un 79,7% y 81,72% respectivamente afirmando un aumento

del 2,02% siendo un resultado favorable ya que se aprovecha más cantidad de trabajo mecánico considerando las pérdidas que existen por rozamiento, distribución u otro elemento del motor.

- Al realizar el cálculo del rendimiento indicado tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se obtuvieron resultados de 63,45% y 63,35% respectivamente obteniendo una disminución del 0,1% siendo un resultado despreciable pues la calidad con que se transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica sobre el pistón no varía significativamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar un estudio acerca de la obtención de hidrógeno e inyección en motores diésel en una mayor cantidad a la realizada en esta investigación (4 litros por cada minuto), tomando como requerimiento la corriente necesaria por el generador de hidrógeno, siendo esta proporcionada por la batería del vehículo o una fuente de energía externa.
- Se aconseja tener cuidado en las conexiones eléctricas del equipo generador de hidrógeno ya que cualquier percance eléctrico ocasionaría algún tipo de chispa y esto sería fatal si entrara en contacto con hidrógeno
- Se recomienda revisar cada uno de los elementos que conforman el generador de hidrógeno que estos no posean ningún daño u avería para no tener ningún inconveniente en la generación de hidrógeno y obtener el máximo rendimiento del equipo
- Realizar el mantenimiento previo del vehículo antes de realizar cualquier prueba de rendimiento mecánico y térmico para no obtener datos erróneos, también el motor debe tener la temperatura de funcionamiento en todo el tiempo de prueba.
- Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo del generador de hidrógeno cada 6 meses para que su funcionamiento no se vea alterado, tomando en cuenta que el motor del vehículo así como el generador deben estar apagado.
- Utilizar equipos de seguridad guantes mandil gafas y botas en el proceso de instalación y pruebas para no tener ningún daño en la integridad de las personas que intervienen en el proceso de investigación.
- En las pruebas de análisis de gases en el AGS-688 se recomienda verificar el estado del filtro después de cada prueba y si se encontrara sucio o tapado cambiarlo para que no sufra ningún daño el equipo de medición, se recalca que las pruebas en vehículos diésel deteriora más rápidamente este filtro.

- Se recomienda verificar la trampa de agua del equipo de medición AGS-688 periódicamente y drenarla cuando exista la presencia de agua.
- Mantener el nivel adecuado de agua destilada con electrolito en el depósito del generador de hidrógeno, siendo el 75% de su capacidad máxima.
- Se recomienda tener precaución en el manejo de los equipos de medición para no tener ningún inconveniente o daño.
- Realizar la calibración previa de los equipos de medición antes de realizar las pruebas para no visualizar datos erróneos.
- Se recomienda tomar las precauciones pertinentes en el aseguramiento del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.
- Tomar las precauciones necesarias para la realización de los protocolos de consumo de combustible para que la distancia sea la correcta y no se exceda de la velocidad máxima.
- Se recomienda realizar la investigación sobre la durabilidad del generador de hidrógeno implementado en un vehículo con motor diésel para verificar su ciclo de funcionamiento útil y su rendimiento a diferentes horas de trabajo.
- Al realizar un análisis matemático de un motor sobrealimentado el cálculo de la densidad del aire de sobrealimentación se la debe realizar tomando en cuenta la presión del turbo del motor obtenida en la pruebas con el dinamómetro para tener resultados más exactos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.E. Dhole, R. Y. (2014). *Las investigaciones sobre el período de duración de la combustión y de retardo del encendido de un dual motor diésel de combustible con hidrógeno y gas pobre como combustibles secundarios*. Elsevier Ltd.
- Biplab, k., Ujjwal, S., & Sahoo, N. (2014). *Efecto de la variación de la cantidad de hidrógeno-diésel en la eficiencia térmica del freno de un motor diésel alimentado dual*. Assam: Journal of Power Technologies.
- Calatayud, J. J. (2008). *Estudio comparativo del uso de hidrógeno frente a combustibles fósiles en motores de combustion interna en buques*.
- Celsi, G., & Santiago, A. (2003). *Química elemental moderna*. Buenos aires: Kapelusz.
- Debnath, B. K. (s.f.). *Efecto de la variación de la cantidad de hidrógeno-diésel en la eficiencia térmica del freno de un motor diésel de doble alimentación*. Assam-India.
- Eduard, W. J. (2005). *Hidrógeno Solar Energía para el Futuro*. Barcelona-México: Boixareu.
- Jhang, S.-R. (2015). *Reducir las emisiones contaminantes de un motor diésel de servicio pesado utilizando*. Taiwan.
- Kumar, & Senthil, R. (2015). *Características de rendimiento, emisión y combustión del Motor de CI alimentado con diésel e hidrógeno*. Berlin.
- Loganathan, M. (2015). *Rendimiento, emisión y características de combustión del motor de CI alimentado con diésel e hidrógeno*. Berlín.
- Madhujit, D., Sastry, G., Panua, R., Banerjee, R., & Bose, P. (2015). *Efecto de hidrógeno-diésel de combustión de combustible dual de las características de rendimiento y emisión de una de cuatro tiempos de un solo cilindro del motor diésel*. Agartala.
- Raymond, A., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de física*. México, D.F.:
- Sandalci, & Tarkan. (2014). *Investigación experimental de las características de combustión, las emisiones y el rendimiento de la inyección de hidrógeno en un motor diésel*. Istanbul: Elsevier.
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Editex.

- Talibi, M., Hellier, P., Balachandran, R., & Ladommatos, N. (2014). *Efecto de combustible de hidrógeno-diésel co-combustión en las emisiones de escape con la verificación utilizando una técnica de muestreo de gas en cilindros*. Londres.
- Tsolakis, A., Hernández, J., Megaritis, A., & Crampton, M. (2005). *Funcionamiento del motor diésel de combustible dual usando H₂. Efectos sobre las emisiones de partículas*. Reino Unido.
- Kindler, H., & Kynast, H. (2001). *Manual mecánica automotriz- Matemática aplicada GTZ*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Wladyslaw, R. (2014). *Funcionamiento de motores de combustión interna*. Monterrey: Universidad autónoma de Nuevo Leon.
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diésel-gasolina*. Latacunga.

TESIS

- Aldás Acosta Edgar, E. T. (Junio de 2010). *Implementación de un dispositivo que inyecte hidrógeno a un motor a gasolina*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- Avila, A. (Marzo de 2016). *Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo x tracción 2 ruedas del fabricante Dynocom*. (Tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador. Quito
- Barreto Granda Wilmer, J. E. (Agosto de 2013). *Análisis del tren alternativo del motor que funciona a hidrógeno versus el motor a gasolina*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- Diego Juma Yar, H. M. (Abril de 2015). *Diseño e instalación de un sistema de alimentación gasolina – hho en el motor de combustión interna del vehículo monoplace tipo buggy del laboratorio de mecánica de patio de la espe extensión Latacunga*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- Duque, E., & Masaquiza, J. (2013). *Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo mazda bt-50 2.2l, para reducir emisiones de gases contaminantes*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba

- Jesús, C., Velástegui, S., & Erazo, G. (2015). *Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- Merchan, C. (2004). *Determinación de la potencia y torque en motores de combustión*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial Santander. Bucaramanga
- Recalde, M. (Abril de 2015). *Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito
- Asas Chicaiza, J., & Erazo, G. (2017). *Caracterización y utilización del aceite obtenido de las semillas de girasol para determinar los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diésel en proporciones de 2%,5%,10%,15%,25% y 50% cuando se lo utiliza como biocombustible*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga.
- Villacís, Y., & Burgos, D. (2016). *Caracterización de la mezcla combustible diésel a partir de aceite de frituras, en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Latacunga
- Erazo, G. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñón en el motor Isuzu serie Dmax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. utilizando como biocombustible en motores diésel en proporción para reducir la polución*. Latacunga. (Tesis de posgrado). Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga.

NETGRAFIA

- AEADE. (2015). *AEADE Ecuador*. Recuperado 09 enero 2017. Obtenido de <https://sites.google.com/site/aeadeecuador/sector-en-cifras>

- Izcalli, & Cuautitlán. (2008). *FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN*. Recuperado 10 enero 2017. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf
- Burke. (2014). *ERCO*. Recuperado 09 enero 2017. Obtenido de <http://www.ercoworldwide.com/index.php/products/potassium-hydroxide/?lang=es>
- Carrillo, F. (2007). *UCLM*. Obtenido de <https://www.uclm.es/profesorado/afantinolo/curso%20de%20catalisis/Puertollano%202007/Tercera%20ponencia.pdf>
- Ciquime. (2014). *Ciquime.org*. Recuperado 15 enero 2017. Obtenido de <http://www.ciquime.org.ar/files/at004.pdf>
- Dynamite. (2017). *Dynamite Dynamometer*. Recuperado 17 enero 2017. Obtenido de <http://www.dynamitedynamometer.com/>
- Guerra. (2013). *Ecured*. Recuperado 03 febrero 2017. Obtenido de https://www.ecured.cu/Agua_destilada
- Hurtado, D., & López, L. (26 de 03 de 2010). *Electric Bricks*. Recuperado 04 febrero 2017 Obtenido de <http://blog.electricbricks.com/2010/03/pwm-control-de-velocidad-en-motores-electricos/>
- INECC. (2010). *inecc.gob*. Recuperado 03 febrero 2017 Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf>
- Ingaña. (2010). *Uprm*. Recuperado 05 febrero 2017 Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-conductividad.pdf>
- Izcalli, & Cuatuilán. (2008). *Olimpia*. Recuperado 05 febrero 2017 Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2015). *Sectores Estratégicos*. Recuperado 03 febrero 2017 Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>

Pereira, J., & Cordova, L. (2007). *Globaltech*. Recuperado 06 febrero 2017
Obtenido de <http://www.globaltech-car.com/detalle.php?idprd=80>

Rotterdamseweg. (2016). *Lenntech*. Recuperado 07 febrero 2017. Obtenido
de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>

Angulo, S. (2017). Consecionarias ganan con el auto usado. *El comercio*, pág.
8.

Universidad de Valladolid. (2014). *Alojamientos.uva*. Recuperado 07 febrero
2017 Obtenido de
https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/511/53711/1/Documento1.pdf

NORMAS

NTE INEN 2202. (2000). *Resource.org*. Recuperado 03 febrero 2017 Obtenido
de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2202.2000.pdf>

NTE INEN 2207. (2002). *Resource.org*. Recuperado 03 febrero 2017 Obtenido
de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2207.2002.pdf>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los señores: JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ y DARIO XAVIER BORJA SOTO.

En la ciudad de Latacunga a los tres días del mes de Julio de 2017

.....

Ing. Alex Cevallos
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

.....

Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA

.....

Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADEMICO