

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz**

Tema:

**Adición de 0,5 L / min de hidrógeno, como medida para reducir las emisiones
contaminantes de 3 a 4 %, comprendida hasta un 25% de carga, en los ciclos del
motor otto.**

Autor:

Stalin Daniel Benavides Mayorga

Director:

Ing. Cristian David Oña Rodríguez

Quito, agosto 2020

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, STALIN DANIEL BENAVIDES MAYORGA

DECLARO QUE:

La investigación denominada: “Adición de 0,5 L / min de Hidrógeno, como medida para reducir de emisiones contaminantes de 3 a 4 %, comprendida hasta un 25% de carga, en los ciclos del motor otto” se ha desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando todos los derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se añadieron en la bibliografía de la investigación.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría, apoyados en la guía constante y exhaustiva de mi docente tutor.

En virtud de la presente declaración, me responsabilizo del contenido de la investigación, en cuanto a su veracidad y alcance científico generado para la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Quito, septiembre 2020.



DEDICATORIA

Este artículo de titulación lo dedico a mi madre Maribel del Roció Benavides Mayorga, que está en el cielo, ya que sin sus enseñanzas de vida, apoyo y el amor que me brindo este hecho no se hubiese realizado, también le dedico, a mis actuales padres Sandra Galuth Basantes y Patricio Napoleón Silva, quienes son mi pilar fundamental para seguir adelante en esta nueva etapa profesional, a Ximena Silva que estuvo pendiente de mi trabajo y estuvo ahí para ayudarme y aconsejarme en el transcurso de mi vida, y a todas las personas que me supieron apoyar durante mi formación profesional

Stalin Benavides M

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la fuerza y el valor para seguir adelante, también a mi madre Maribel del Rocío Benavides Mayorga por ser la mejor madre que la vida me pudo otorgar , a mis nuevos padres quienes me brindaron la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa Universidad , a mis docentes los cuales me ayudaron para solventar mis dudas, y enriquecer mi conocimiento, al Ing. Cristian Oña, por ser un pilar fundamental en la culminación de la carrera profesional, de igual forma por brindarme un espacio para pulir mis habilidades técnicas, a mis compañeros de trabajo, Antonio Morocho y Juan Carlos Maldonado, con los cuales comparto las mejores experiencias de vida.

Stalin Benavides M

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	6
RESUMEN.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
2. FUNDAMENTACION TEÓRICA	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSION	13
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
ANEXOS INTRODUCCIÓN.....	21
Anexo 1.....	22
P. Chitragar, K. Shivaprasad, V. Nayak, P. Bedar y G. Kumar, "Un estudio experimental sobre el análisis de la combustión y las emisiones de un motor de gasolina de cuatro cilindros y cuatro tiempos que utiliza hidrógeno puro y GLP en condición inactiva", Energy Procedia , vol. 90, págs. 6-8, 2016.Disponible: 10.1016 / j.egypro.2016.11.220 [Consultado el 2 de junio de 2020].....	Págs.6-8 22
Anexo 2.....	22
L. Él, L. Jingyuan, Y. Xiumin, L. Mengliang y Y. Tian, "Estudio numérico sobre las características de combustión y emisión de un motor de gasolina PFI con inyección directa de hidrógeno", Energy Procedia , vol. 158, págs. 3-5, 2019. Disponible: 10.1016 / j.egypro.2019.01.348 [Consultado el 3 de junio de 2020].....	Págs.3-5 22
Anexo 3.....	22
[5] J. Murillo Aldaz, "Estudio de las curvas características de motor del vehículo chevrolet sail 2012 con el uso de hidrógeno como combustible.", Repositorio.uide.edu.ec, 2020. [Online]. Disponible: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1032 . [Consultado: 08- Jun-2020].....	Págs.45-50 22
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
Anexo 5.....	23
S. Wang, C. Ji, B. Zhang y X. Zhou, "Análisis de la combustión de un motor de gasolina mezclado con hidrógeno a cargas elevadas y condiciones pobres", Energy procedia, vol. 61, págs. 3-6, 2014. Disponible: 10.1016 / j. egypro.2014.11.1116 [Consultado el 20 de junio de 2020].....	Págs. 3-4 23
Anexo 6.....	23
S. Andrade Avalos y C. Beltrán Rojas, "Estudio comparativo de Torque y potencia en combustibles estatales distribuidos en la CAN a 2800 msnm", Repositorio.uide.edu.ec, 2020.Online]. Disponible: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1699 . [Consultado: 11 de junio de 2020].....	Págs. 17-19 23

Anexo 7	23
S. Serrano Vincenti, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios and M. Villacís, "Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el distrito metropolitano de quito", Dspace.ups.edu.ec, 2020. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8828 . [Consultado: 18- Jul-2020].....	
	Págs. 2-4 23
Anexo 8	23
D. Herrera Barreiro y N. García Estrada, "Análisis de resultados de un sistema de inyección de agua / metanol, para reducir emisiones contaminantes", Repositorio.uide.edu.ec, 2020. [Online]. Disponible: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/119 . [Consultado: 15 de junio de 2020].....	
	Págs. 59-65 23
ANEXOS MATERIALES Y METODOS	24
Anexo 9	25
Equipos Utilizados en la Investigación.....	
	25
Anexo 10	26
Procedimiento a detalle para la toma de datos mediante el analizador de gases AGS 688, para lo cual a continuación se detalla paso a paso el procedimiento a seguir. ...	
	26
Anexo 11	31
Fotografías prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	
	31
Anexo 12	34
Fotografías prueba estática a 850 Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.	
	34
Anexo 13	36
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349. Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos Recuperado 30/junio/2020 Disponible: https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component	
	36
Anexo 14	37
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “Ralentí”. Prueba estática. Recuperado 30/07/2020 Disponible: https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component	
	37
Anexo 15	37
Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 204. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. Recuperado 30/07/2020 Disponible: https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component	
	37

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Anexo 16.....	38
Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica a 2500 Rpm	38
Anexo 17.....	38
Tabla descriptiva de los datos, de la prueba estática a 850 Rpm.....	38
Anexo 18.....	39
Análisis Estadístico.....	39
Anexo 19.....	41
Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, incluido el factor lambda de la prueba estática, conforme la tabla del Anexo 17.	41
Anexo 20.....	44
Porcentajes de varianza positiva y negativa de los promedios generados en el análisis de varianza ANOVA del Anexo 18, Prueba dinámica.	44
Anexo 21.....	44
Porcentajes de varianza positiva y negativa de los promedios generados en el análisis de varianza ANOVA del Anexo 19, Prueba Estática	44

ADICIÓN DE 0,5 L / MIN DE HIDRÓGENO, COMO MEDIDA PARA REDUCIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE 3 A 4 %, COMPRENDIDA HASTA UN 25% DE CARGA, EN LOS CICLOS DEL MOTOR OTTO

Stalin Benavides

Estudiante Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador.

stbenavidesma@uide.edu.ec Quito-Ecuador

Cristian Oña Profesor Universidad Internacional del Ecuador

cronaro@uide.edu.ec

Resumen.

En esta investigación se analizó diversos artículos de carácter científico respecto la adición de hidrógeno, como medida para mejorar tanto en torque y potencia, al igual que los efectos negativos que generan en vehículos de combustión interna, para lo cual fue necesario analizar el campo numérico de dichas investigaciones, **Metodología**, esta investigación se realizó mediante un método cuantitativo ya que se utiliza el ANOVA como sustento de la investigación y experimental ya que la adición de hidrógeno se lo lleva acabo de forma técnica, **Resultados**, en la parte experimental se mostró que la eficiencia térmica aumentó, conforme se adiciono 0,5 L /min de hidrógeno en las mezclas de combustible, presentando así datos significativos de la reducción de emisiones contaminantes, los cuales son sustentados mediante el análisis de varianza, ANOVA, para contribuir la investigación se experimentó el comportamiento de los gases en carga parcial o media carga, con la finalidad de brindar un nuevo enfoque científico para el planteamiento de futuras investigaciones. **Conclusión**. Esta investigación permitió determinar que la adición de hidrógeno contribuye como una medida alternativa para la reducción de las emisiones contaminantes de este motor, ya que las emisiones se vieron influenciadas de forma positiva al adicionar 0,5L/min de hidrogeno al combustible local, esto es posible ya que la unidad de control de un motor permite auto ajustar valores en cuanto a la inyección, en esta investigación muestra que la mezcla pobre es compensada por el hidrógeno, evitando así mezclas ricas y por consiguiente el aumento de gases contaminantes.

Palabras claves: Hidrógeno, Carga del motor, Emisiones contaminantes, Anova.

Abstract.

In this research, various scientific articles were analyzed regarding the addition of hydrogen, as a measure to improve both torque and power, as well as the negative effects they generate in internal combustion vehicles, for which it was necessary to analyze the numerical field of said investigations, Methodology, this investigation was carried out by means of a quantitative method since the ANOVA is used as support of the investigation and experimental since the addition of hydrogen is carried out in a technical way, Results, in the experimental part it was shown that the Thermal efficiency increased, as 0.5 L / min of hydrogen was added to the fuel mixtures, thus presenting significant data on the reduction of pollutant emissions, which are supported by the analysis of variance, ANOVA, to contribute to the research. the behavior of gases in partial or half load, in order to provide a new or scientific approach for the approach of future investigations. Conclusion. This research made it possible to determine that the addition of hydrogen contributes as an alternative measure for the reduction of polluting emissions from this engine, since emissions were positively influenced by adding 0.5L / min of hydrogen to the local fuel, that is, possible since the control unit of an engine allows auto-adjust values regarding injection, in this investigation it shows that the lean mixture is compensated by hydrogen, thus avoiding rich mixtures and consequently the increase of polluting gases.

Keywords: Hydrogen, Engine load, Pollutant emissions, Anova.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías automotrices están en constante cambios e innovación, tanto en diseño, seguridad y sobre todo están enfocados en la construcción de motores de combustión interna, cuya finalidad principal y fundamental es elevar el rendimiento, y así generar un aumento de potencia, con un objetivo muy claro, el cual es evitar un consumo mayor de combustible, buscado optimizar este recurso energético.

Con la finalidad de contribuir con un estudio de investigación científica, la cual busca extender una alternativa tecnológica de una manera eficiente, para reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna, se ha enfocado por la utilización del hidrógeno como fuente energética adicional al combustible local, para lo cual su generación e inyección se lo realiza mediante un sistema de generación e inyección durante el proceso del ciclo de admisión del motor, teniendo en cuenta que este estudio es un pilar fundamental, para la implantación del avance tecnológico en ciudades de altura (respecto al nivel del mar) como es el caso de la ciudad de Quito - Ecuador, la misma que está a una altura promedio de 2850 metros sobre el nivel del mar [1]. ya que este factor es determinante al momento de las emisiones contaminantes, ya que el descenso de la presión atmosférica es compensado por la adición de más combustible, lo cual se convierte en una cantidad mayor de emisiones contaminantes. Dichas emisiones como el monóxido de carbono, dióxido de carbono y los hidrocarburos no combustionados, repercuten directamente sobre la salud humana, lo cual aumenta el riesgo de accidentes de enfermedades cerebrales, cardíacas, y enfermedades pulmonares siendo esta última la cual es la sexta enfermedad que causa más muertes en nuestro País. [2]

Según la OMS afinar que la mayor parte de muertes son atribuibles a la contaminación

atmosférica, las cuales están relacionadas con las enfermedades no transmisibles, dentro de estas se tiene que, el 36% de las muertes son ocasionadas por cáncer de pulmón, el 35% se atribuye a enfermedades pulmonar, el 34% de los accidentes cerebrales y el 27% de afecciones cardíacas se atribuyen a la contaminación atmosférica generada por vehículos impulsados por hidrocarburos fósiles. [3]

2. FUNDAMENTACION TEÓRICA

Las investigaciones como tal del hidrógeno, como principal fuente energética se realizó un estudio comparativo sobre las características de combustión de metano / hidrógeno en un motor de alta relación de compresión donde aseguran notables mejoras en rendimiento. [4]. Por otra parte, se tiene un estudio sobre los efectos de la proporción de inyección dividida en la distribución de mezcla de hidrógeno, la combustión y las emisiones de un motor de gasolina / hidrógeno SI con inyección directa de hidrógeno dividido en condiciones de combustión pobre, donde se asegura que la adición en pequeñas cantidades de HHO, disminuyen las emisiones contaminantes [5]. Tenemos un grupo muy significativo de trabajos, respecto al uso de hidrógeno como fuente energética, de los cual se incluye uno de los más relevantes en el cual se exponen los avances tecnológicos permitiendo obtener mejoras las cuales son muy notables en los índices de motores con el uso del gas oxhídrico. [6] cabe mencionar que, el volumen de hidrógeno tiene cambios, de adiciones de mililitro a litros, en diferentes rangos, y en función del motor a utilizar.

El uso de este gas como fuente energética se plantea como una alternativa muy prometedora e interesante para los motores de combustión interna, con la finalidad de bajar las emisiones contaminantes, los motores 100% a hidrógeno, y en si como su fuente energética principal, aún se encuentran en vías de desarrollo e innovación, por lo cual presentan una serie

de falencias entre estas se encuentra la producción y almacenamiento del hidrógeno, así como el efecto de la combustión de hidrógeno sobre partes fijas y móviles del motor. [7]

Dentro de las investigaciones más relevantes se encuentra una investigación en la cual contribuye a que el hidrógeno como aditivo de combustible contiene muchos beneficios relevantes que contribuye y acelera la oxidación generando así la disminución de los compuestos contaminantes durante el proceso de combustión, comparados con otros derivados de petróleo.[8], una de las investigaciones permite apreciar las proporciones que se puede añadir median la circulación de gases de escape rica en hidrógeno (H₂-EGR), con un claro objetivo de mejorar el rendimiento y reducir las emisiones de un motor de encendido por compresión.[9], de igual forma existe una investigación de los efectos del hidrógeno en vehículo turboalimentado, dando como resultados favorable, en dicha investigación se expone que no se presenta ningún tipo de aspecto perjudicial en estos motores. [10], de igual forma en un motor GDI, se encuentra una investigación sobre la adición hidrógeno en este tipo de motor donde los resultados muestran que la adición de hidrógeno a la mezcla de gasolina y el proceso de combustión y por consiguiente la eficiencia de la combustión, permitiendo que las emisiones se reduzcan, de manera notable. [11].

Conforme a las investigaciones sujetas de análisis se puede exponer que al tener un gas con mayor poder calorífico que los combustibles de distribución local, al ingresar por la admisión ocasiona que la unidad de control reajuste sus parámetros de inyección, a consecuencia de la auto detonaciones ocasionadas, dentro del cilindro dicho reajuste se lo realiza en menor inyección de combustible ya que este es compensado por el hidrógeno, este proyecto tiene un objetivo claro el cual es reducir la

emisiones contaminantes, mediante la adición de hidrogeno, producido en el vehículo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un motor de ciclo otto, de comercialización Nacional, un equipo de producción de hidrógeno H5 y un analizador de gases. En la Tabla 1 se indican las especificaciones técnicas de dichos elementos.

Tabla 1. Características técnicas de los materiales

MOTOR	Marca	Chevrolet
	Modelo	Optra
	Versión	1.789 LT
	Potencia:	122 cv (90 kW - 121 hp)
	Motor	4 cilindros (motor en línea)
	Cilindrada	1799 cm
	Distribución:	16 válvulas
	Relación de Compresión	9-1
	Par máximo	165 Nm (4000 tr/min)
	Trasmisión	Tracción delantera, caja de cambios manual
	Peso medio	1211 kg
	Relación consumo / potencia	10.3 cv/L
EQUIPO DE HIDRÓGENO	Modelo	H5
	Corriente	DC- 12 V
	Consumo	5 Amp/hora
	Capacidad Litro /minuto	1.5 lt/min
	Marca	Brain Bee
	Modelo	AGS688
	Características técnicas	Valores

ANALIZADOR DE GASES	CO	De 0 A 9.99 %vol.
	CO2	De 0 A 19.9 %vol.
	HC hexano	De 0 A 9999 ppmvol
	O2	De 0 A 25 %vol.
	Lambda	De 0.5 A 5
	Revoluciones	De 300 A 9990 rpm
	Temp. Aceite	de 20 A 150 °C

Fuente: Benavides Mayorga [12] [13] [14]

Los materiales enlistados permite obtener datos precisión en cuanto a las mediciones realizadas en el ámbito experimental ya que al tener un vehículo de baja cilindrada y con una relación de compresión de 9-1, permite que este motor se acople perfectamente al combustible local permitiendo así obtener datos más precisos para esta investigación, de igual forma el equipo de analizador de gases AGS688, es homologado en el país permitiendo obtener datos con respaldo de dicha homologación, en cuanto al equipo de hidrógeno modelo H5, es un equipo muy versátil el cual permite obtener almacenar y adicionar hidrógeno de forma controlada lo cual permite obtener una seguridad en el manejo de este gas, el cual es introducido mediante una manguera conectada a la admisión, teniendo en cuenta que este dispositivo va conectado directamente a la batería del vehículo.

Esta investigación se desarrolló en la ciudad de Quito ubicada a 2850 msnm, a presión atmosférica de 72.795 kPa y a una temperatura de 300 K.,[15] Teniendo en cuenta estas variantes, se estableció tres etapas.

En la primera etapa, se procede a precalentar tanto el equipo de analizador de gases, como el motor del vehículo, con la finalidad de que cada uno de ellos llegue a su temperatura de trabajo, según lo especifica el manual de fabricante, esto se lo realizó una sola ocasión.



Gráfico 1: Precalentamiento del Analizador de gases y el Motor del Vehículo

Fuente: Benavides Mayorga

Posterior se realiza la prueba de estanqueidad del Analizador AGS688, como se muestra el grafico 2, zona izquierda, para realizar la calibración del equipo, no introducir la sonda en el escape del vehículo, como se muestra en el grafico 2 Zona derecha, esto es fundamental y necesario en este tipo de analizador de gases.



Gráfico 2: Prueba de estanqueidad y Auto calibración del equipo AGS688

Fuente: Benavides Mayorga

Luego se coloca la sonda en el escape, teniendo en cuenta que su seguro se encuentre en la parte interna del mismo, como se muestra la zona izquierda del grafico 3. Posterior a ello se procede a esperar que las lecturas visualizadas en la pantalla del equipo se normalicen como se muestra en la zona derecha del grafico 3, con la finalidad de evitar lecturas incorrectas, este paso es fundamental en cada una de las pruebas que se realice



Gráfico 3: Colocación de la sonda y estabilidad de datos Equipo Ags688

Fuente: Benavides Mayorga

En la segunda etapa, fase uno se procede a realizar las 10 pruebas, sin la adición de

hidrógeno, para lo cual se toma el tiempo de 15 segundos prueba dinámica a 2500rpms constantes, en la fase dos se contabiliza 20 segundos en prueba estática, estas lecturas de pruebas se las realizo en intervalos de 30 segundos para evitar lecturas incorrectas, y por consiguiente evitar descensos de temperaturas las cuales puedan alterar los datos. Cabe mencionar que esta prueba se la realizo para permitir el estudio de futuras investigaciones, ya que nuestra investigación se centra en la tercera etapa. En la tercera se procede añadir el hidrógeno 0,5L/min, mediante un tubo conectado a la admisión del motor, teniendo en cuenta que el equipo se encuentre conectado a la batería del vehículo, en la fase uno y dos se estableció la toma de 10 lecturas, respetando los mismos parámetros de prueba dinámica y estática, al igual que los intervalos de prueba ya mencionados en la etapa dos.



Gráfico 4: Instalación del Generador de hidrógeno Modelo H5, para las pruebas
Fuente: Benavides Mayorga

Todos los datos obtenidos en la etapa dos y tres, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), Anexo 19-20, con la finalidad de obtener un sustento cuantitativo de la investigación, el procedimiento a detalle de cada etapa se encuentra en el Anexo 10.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En la etapa dos y tres, fase uno, prueba dinámica, se obtuvieron 10 datos con y sin la adición de hidrógeno, los datos obtenidos de las mediciones tomadas se encuentran en el Anexo 16, de los cuales se establece los

siguientes promedios de cada gas incluyendo el factor Lambda y el análisis de varianza (ANOVA). Como se especifica a detalle en la Tabla 2.

Tabla 2 Promedios de prueba dinámica etapa uno y dos

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	ANOVA F	F. crítico
CO %	0,239	0,097	38,20	6,51
CO2 %	12,71	14,21	59,24	6,51
HC ppm	76,5	28	636,69	6,51
O2 %	1,661	0,45	46,44	6,51
Lambda (-)	1,0754	1,0258	17,30	6,51

Fuente: Benavides Mayorga

En la etapa dos y tres, fase dos, prueba estática 800rpm, a un régimen de ralentí 25 % de carga de motor, de las mediciones realizada los datos se encuentran en el Anexo17, de las cuales se obtuvo los promedios de cada gas, incluyendo el factor Lambda y el análisis de varianza (ANOVA), como se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 3 Promedios de prueba estática etapa uno y dos

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	ANOVA F	F. crítico
CO %	0,255	0,169	13,22	6,51
CO2 %	12,36	13,38	21,28	6,51
HC ppm	100,4	49,3	79,75	6,51
O2%	2,821	1,85	14,62	6,51
Lambda (-)	1,137	1,0863	14,45	6,51

Fuente: Benavides Mayorga

Con respecto al análisis de la prueba dinámica de la etapa dos y tres fase uno, correspondientes a la tabla 2, al agregar la cantidad de 0,5L/min, de hidrógeno, los

datos obtenidos presentaron cambios los cuales son, sujetos al análisis de varianza (ANOVA), a un 98% de confiabilidad, donde se puede evidenciar de forma estadística los cambios, los cuales son significativos, en el caso del porcentaje del monóxido de carbono CO, se tiene un promedio 0,239 al utilizar solo combustible, pero su promedio se reduce a 0,097, al utilizar gasolina más Hidrógeno, por lo tanto en el análisis de varianza se tiene que su Factor F de 38,20 siendo su factor crítico 6,51 por consiguiente se rechaza a la hipótesis nula, ya que el factor F, es superiores al F crítico. En el caso de los hidrocarburos HC, es donde el efecto del hidrógeno es muy notable ya que en los promedios de las partículas por millón son las siguientes en el caso de utilizar solo gasolina se tiene 76,5 pero al utilizar el hidrógeno se redujo a 28 y en caso de análisis de varianza se tiene que su Factor es 636,69 siendo su factor crítico 6,51, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula, en todo su concepto. En el caso del dióxido de carbono CO₂, su porcentaje sufre un ligero incremento, en los promedios se obtiene 12,71 al utilizar solo el combustible, pero esto se incrementa a 14,21 al utilizar el hidrógeno, este cambio se lo evidencia en el análisis de varianza el cual tiene un factor de 59,24 donde su factor crítico es 6,51 pese a que F es superior a F crítico, la hipótesis nula se acoge ya que en los promedios, al utilizar la gasolina son menores a los promedios de gasolina más hidrógeno, el análisis de varianza muestra que si hay cambios, pero en forma negativa, por los promedios obtenidos, a continuación, se presentan de forma esquemática los valores promedios de los gases, en porcentajes, de igual se incluye el comportamiento de los mismos, conforme a los datos obtenidos del Anexo 16.

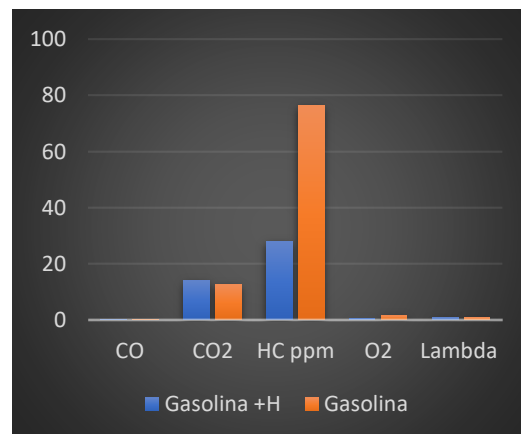


Gráfico 5: Promedios de la prueba dinámica

Fuente: Autor

En el caso de estos promedios de las 10 dinámicas realizadas se puede apreciar la barra de color naranja la cual representa el promedio de los gases sin la adición de hidrógeno, dicha barra, varía respecto a la barra de color azul, la cual representa a la adición de hidrógeno, en especial los hidrocarburos HC los cuales redujeron notablemente, esto es evidenciado en la presencia de oxígeno en los gases, los cuales también reducen, al igual que el factor lambda tiene una tendencia hacia uno, evidenciado así que la mezcla es más estequiométrica, por consiguiente al adicionar el hidrógeno reduce la emisiones contaminante, excepto el gas CO₂ el cual tiende a subir ligeramente, por lo cual a continuación se presenta, de forma esquemática el comportamiento de cada uno de los gases de forma individual en cada una de las 10 mediciones tomadas, siendo estos sujetos de análisis.

Análisis de los gases

En el caso del monóxido de carbono CO, el comportamiento de este gas tiene una similitud de frecuencia, pero la línea de color gris correspondiente al añadir hidrógeno se puede apreciar como desciende respecto a la línea de color naranja la cual corresponde al utilizar solo gasolina, en la última prueba (10), aparentemente tenemos un descenso de emisiones de la línea naranja, las cuales

tienen a aproximarse a la línea de color gris pero no se interceptan.

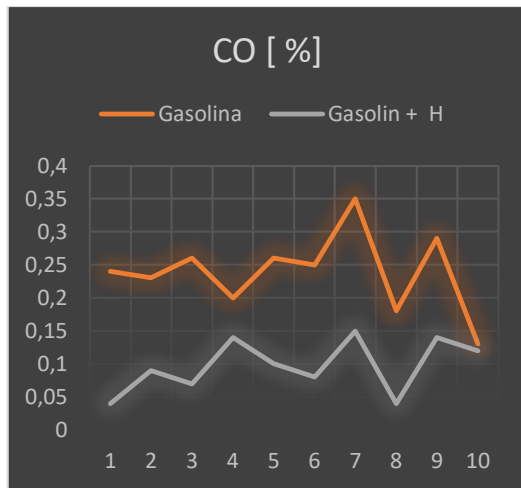


Gráfico 7: Grafica de datos del monóxido de carbono, de la prueba dinámica
Fuente: Benavides Mayorga

En el caso del dióxido de carbono CO₂ sucede un fenómeno inesperado el cual aumenta respecto a la gasolina, como se puede apreciar en gráfico 8, la línea de color naranja correspondiente al utilizar solo combustible se encuentra por debajo de la línea de color gris correspondiente al añadir el hidrógeno al combustible, pero se resalta que en este gas se mantiene más estable al añadir hidrógeno por consiguiente sus valores no están expuestos a cambios inesperados.

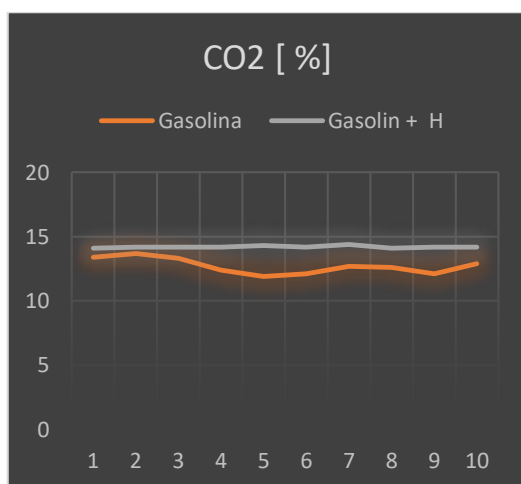


Gráfico 8: Grafica de datos del dióxido de carbono, de la prueba dinámica
Fuente: Benavides Mayorga

En el caso de los hidrocarburos no combustionados HC, tenemos un cambio bien rotundo, esto permite una afirmación a la hipótesis planteada, ya que el cambio es notorio de acuerdo con la gráfica 9, siendo este gas el cual reduce notablemente al añadir hidrógeno al combustible, esto generado por el reajuste de inyección que realiza la unidad de control.

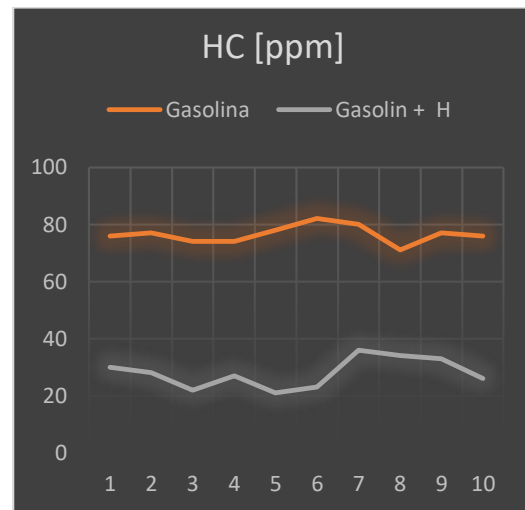


Gráfico 9: Grafica de datos de los hidrocarburos, de la prueba dinámica.
Fuente: Benavides Mayorga

Los cambios apreciados en los HC son evidenciados en la presencia del oxígeno en los gases, por lo cual la separación del oxígeno se reduce al igual que los hidrocarburos al adicionar el hidrógeno al combustible.

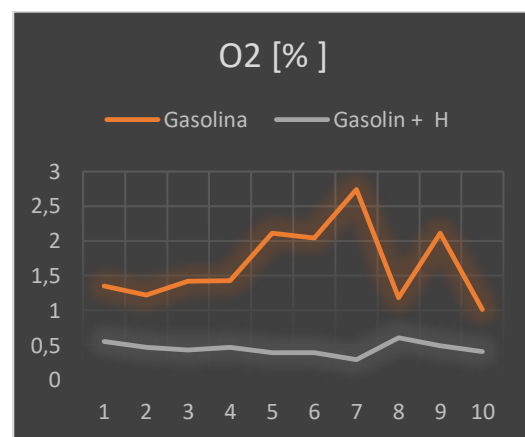


Gráfico 10: Grafica de datos del oxígeno, de la prueba dinámica.
Fuente: Benavides Mayorga

Todos los cambios generados, en los gases en la prueba dinámica se ve evidenciado en el factor lambda, el cual, al añadir el hidrógeno en forma de gas, este factor tiene a descender y aproximarse a uno lo cual permite entender que la mezcla es más estequiométrica por consiguiente la necesidad de utilizar más combustible es compensado por el hidrógeno y esto se ve reflejado en los hidrocarburos no combustionados, los cuales descienden notablemente al utilizar el hidrógeno.

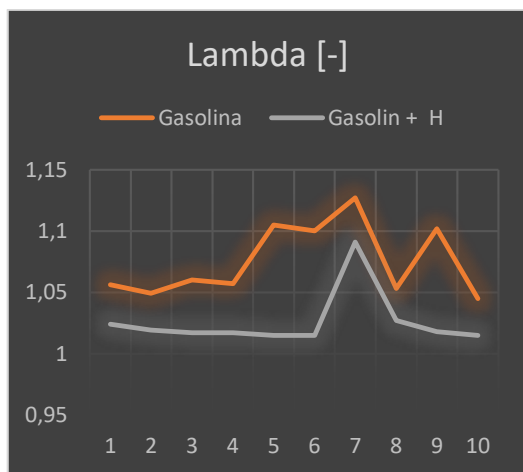


Gráfico 11: Grafica de datos del Factor Lambda, de la prueba dinámica.

Fuente: Autor

Con respecto al análisis de la prueba estática de la etapa dos y tres fase dos correspondientes a la Tabla 3, al agregar la cantidad de 0,5L/min, de hidrógeno, los datos obtenidos presentaron cambios los cuales son, sujetos al análisis de varianza (ANOVA), a un 98% de confiabilidad, donde se puede evidenciar de forma estadística los cambios, los cuales son significativos, en el caso del monóxido de carbono CO, se tiene un promedio 0,255 al utilizar solo combustible, pero su promedio se reduce a 0,169, al utilizar gasolina más Hidrógeno, por lo tanto en el análisis de varianza se tiene que su Factor F de 13,22, siendo su factor crítico 6,51 por consiguiente se rechaza a la hipótesis nula, ya que el factor F, es superiores al F crítico. En el caso de los hidrocarburos HC, es donde el efecto del hidrógeno fue aún más notable ya que los

promedios de las partículas por millón son las siguientes en el caso de utilizar solo gasolina se tiene 100,4 pero al utilizar el hidrógeno se redujo a 49,3 y en caso de análisis de varianza se tiene que su Factor es 79,75, siendo su factor crítico 6,51, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula. En el caso del dióxido de carbono CO₂, su porcentaje sufre un ligero incremento, en los promedios se obtiene 12,36 al utilizar solo el combustible, pero esto se incrementa a 13,38 al utilizar el hidrógeno, este cambio se lo evidencia en el análisis de varianza el cual tiene un factor de 21,28 donde su factor crítico es 6,51 pese a que F es superior a F crítico, la hipótesis nula se acoge ya que en los promedios al utilizar la gasolina son menores a los promedios de gasolina más hidrógeno, el análisis de varianza lo que nos muestra que si hay cambios pero en forma negativa, a continuación, se presentan de forma esquemática los valores promedios de los gases, en porcentajes, de igual se incluye el comportamiento de los mismos, conforme a los datos obtenidos del Anexo 17.

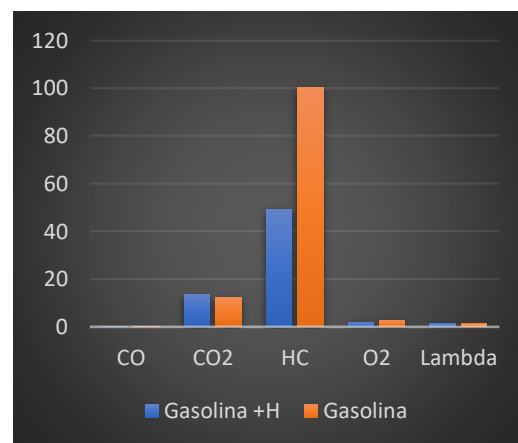


Gráfico 12: Promedios de la prueba estática

Fuente: Benavides Mayorga

En la figura 12, se puede apreciar la barra de color naranja la cual representa el promedio de los gases sin la adición de hidrógeno, dicha barra, varía respecto a la barra de color azul, la cual representa a la adición de hidrógeno, en especial los HC los cuales redujeron notablemente, esto es evidenciado en la presencia de oxígeno en los gases, los

cuales también reducen, al igual que el factor lambda tiene una tendencia hacia uno, evidenciado así que la mezcla es más estequiométrica, por consiguiente al adicionar el hidrógeno reduce la emisiones contaminante, excepto el gas CO₂ el cual tiende a subir ligeramente, por lo cual a continuación se presenta, de forma esquemática el comportamiento de cada uno de los gases de forma individual en cada una de las 10 mediciones tomadas, siendo estos sujetos de análisis.

En esta grafica se puede evidenciar como desciende considerablemente las emisiones de CO, al agregar los 0,5L min de hidrógeno.

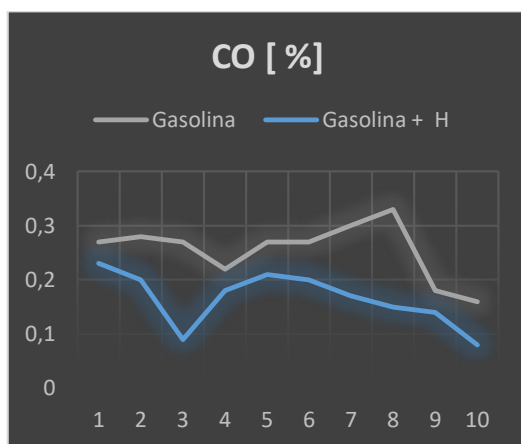


Gráfico 13: Grafica de datos del monóxido de carbono, de la prueba estática
Fuente: Benavides Mayorga

En el caso del CO₂, tenemos un incremento ligero teniendo en cuenta que el oxígeno no sufre un incremento, esto es ocasionado por la reacción química dentro del cilindro.

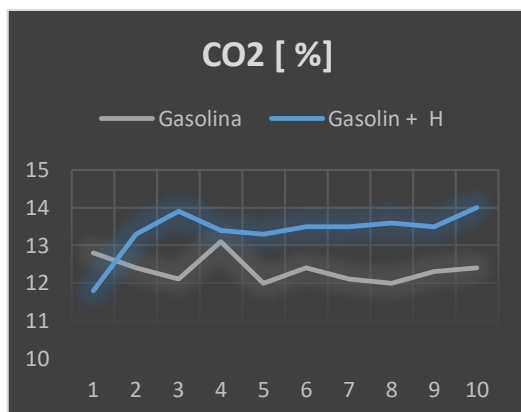


Gráfico 14: Grafica de datos del dióxido de carbono, de la prueba estática
Fuente: Benavides Mayorga

En el caso de los gases de hidrocarburos, son los más influenciados como se puede apreciar en la gráfica 15, de esta forma se afirma la hipótesis planteada ya que los hidrocarburos descienden por el reajuste de inyección de la unidad de control, ya que disminuye el acho de pulso en presencia del hidrógeno, con la finalidad de evitar las auto detonaciones dentro del cilindro.

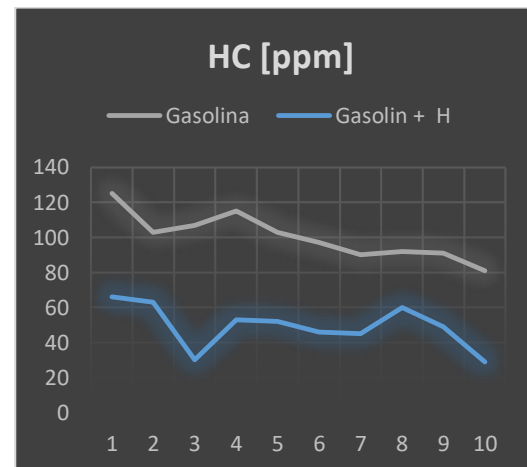


Gráfico 15: Grafica de datos del hidrocarburo, de la prueba estática
Fuente: Benavides Mayorga

De igual forma sucede en el caso del oxígeno el cual está relacionado con los hidrocarburos, ya que este gas resulta de la combustión y al reducir los hidrocarburos también reduce la presencia de este gas.

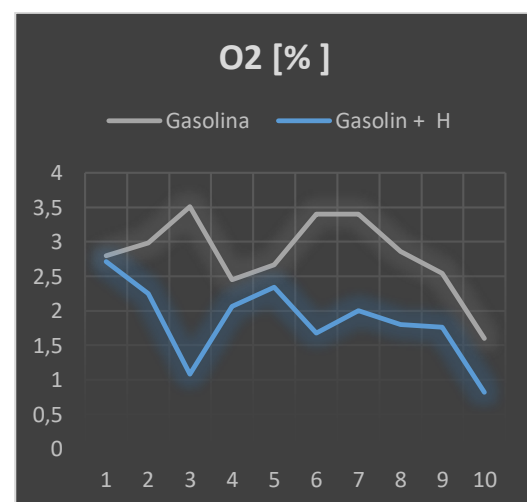


Gráfico 16: Grafica de datos del oxígeno de la prueba estática
Fuente: Benavides Mayorga

Finalmente es posible, analizar el factor lambda el cual, representa el estado de la mezcla dentro del cilindro, siendo uno la representación teórica, por lo cual mientras más se aproxime a uno representa una combustión casi perfecta, en el caso de la adición del hidrógeno el factor lambda se aproxima a uno como se aprecia en el Grafico 17, lo cual afirma que la mezcla es más estequiométrica y por consiguiente las emisiones reducen

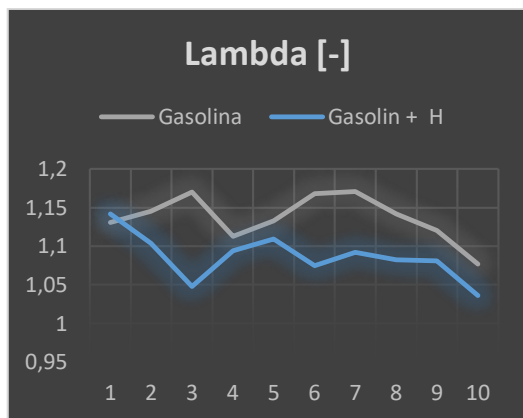


Gráfico 17: Grafica de datos de lambda de la prueba estática

Fuente: Benavides Mayorga

4. Conclusiones

Mediante el método cuantitativo y técnico llevado a cabo en esta investigación, en la prueba dinámica a 2500 Rpm, se determinó que la adición de hidrógeno en 0,5L/min, permite reducir las emisiones contaminantes, como se lo establece los promedios en la Tabla 2, los cuales se realizó el porcentaje de descenso con la finalidad de obtener el porcentaje de diferencia para lo cual es estable la Tabla 4.

Tabla4: Porcentajes de variación prueba dinámica

	Gasolina	Gasolina +H	Porcentaje
CO %	0,239	0,097	-59%
CO2 %	12,71	14,21	12%
HC ppm	76,5	28	-63%
O2 %	1,661	0,45	-73%
Lambda (-)	1,0754	1,0258	-5%

Fuente: Stalin Benavides

De los porcentajes establecidos en la tabla 4, los gases contaminantes que más descienden son los Hidrocarburos, en un 63% y el Monóxido de carbono, en 59%, pero en el caso del Dióxidos de carbono, se tiene un incremento del 12%, pero el comportamiento de este gas es mucho más estable en la prueba dinámica al añadir el hidrógeno siendo este un buen punto, para investigaciones futuras con finalidad de encontrar el origen del incremento y comportamiento de este gas, no está demás mencionar que este gas no es toxico en pequeñas cantidades, pero si es una variante que contribuye al efecto invernadero y por consiguiente al calentamiento global, cuando este gas se lo produce en grandes cantidades.

En el caso del oxígeno se tiene un descenso del 73% el cual está relacionado con el descenso de los hidrocarburos, de igual forma sucede con el factor lambda la cual desciende en un 5%, siendo este porcentaje de aproximación a uno.

En el caso de la prueba estática, 850 rpm la cual es el punto principal de la investigación, de los datos obtenidos en la tabla 3, se sometieron a la obtención del porcentaje de diferencia que existe entre estos datos obteniendo así la Tabla 5.

Tabla 5: Porcentajes de variación prueba estática

	Gasolina	Gasolina +H	Porcentaje
CO %	0,255	0,169	-34%
CO2 %	12,36	13,38	8%
HC ppm	100,4	49,3	-51%
O2 %	2,821	1,85	-34%
Lambda (-)	1,137	1,0863	-4%

Fuente: Stalin Benavides

En el caso del monóxido de carbono CO, tenemos un descenso del 34%, de igual forma los hidrocarburos HC, en 51%, pero en el caso del dióxido de carbono se incrementa en 8%, siendo este gas el único que no desciende como se esperaba en un inicio.

En el caso del oxígeno el cual es considerado como un gas no contaminante, este gas desciende, en 34% lo cual está relacionado con el descenso de los hidrocarburos, cabe mencionar que su comportamiento conforme al grafico 16, se puede apreciar que continua con una frecuencia similar, al utilizar solo el combustible, lo cual permite abrir un estudio de investigación sobre este fenómeno.

Finalmente, el factor Lambda, en esta prueba desciende en 4% siendo este porcentaje de aproximación a uno, lo cual da una formación que la adición de hidrógeno es un camino viable, para la reducción de emisiones contaminantes.

Todos los datos de los promedios de las dos pruebas, se sometió al análisis de varianza ANOVA, lo cual permitió saber si los cambios encontrados son significativos, ya sea de forma positiva o negativa, como en el caso del Dióxido de Carbono CO₂, el cual aumenta, en las dos pruebas, todo esto es necesario ya que la estadística como tal permite afirmar o negar de forma numérica un acontecimiento planteado, en base a datos numéricos. Por tal razón, esta investigación ha generado datos positivos los cuales pueden ser sujetos de análisis y experimentación para el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la reducción de emisiones contaminantes.

5. REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Serrano Vincenti, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios and M. Villacís, "Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el distrito metropolitano de quito", Dspace.ups.edu.ec, 2020. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/12345>

6789/8828. [Accessed: 28- Jul- 2020]. pp. 2-6

- [2] Y. Loaiza, "¿Respiramos aire contaminado en las ciudades del Ecuador?", GK, 2020. [Online]. Available: <https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-ecuador-ciudades/>. [Accessed: 29- Julio- 2020].
- [3] E. Medioambientales, C. Ambiental and C. Ambiental, "OPS/OMS | Contaminación del Aire Ambiental", Pan American Health Organization / World Health Organization, 2020. [Online]. Available: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es. [Accessed: 29- Jul- 2020]. pp. 2-3
- [4] Zhen, X., Li, X., Wang, Y., Liu, D., & Tian, Z. (2020). Comparative study on combustion and emission characteristics of methanol/hydrogen, ethanol/hydrogen and methane/hydrogen blends in high compression ratio SI engine. *Fuel*, 267, 117193. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117193. pp. 5
- [5] T. Arjun, K. Atul, A. Muraleedharan, P. Walton, P. Bijinraj y A. Raj, "Una revisión sobre el análisis del gas HHO en motores de CI", sciencedirect, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2019.05.001>. [Acceso: 29- julio-2020].
- [6] Li, G., Yu, X., Jin, Z., Shang, Z., Li, D., Li, Y., & Zhao, Z. (2020). Study on effects of split injection proportion on hydrogen mixture distribution, combustion and emissions of a gasoline/hydrogen SI engine with split hydrogen direct injection under lean burn condition. *Fuel*, 270, 117488. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117488, pp. 5

- [7] Arjun, T., Atul, K., Muraleedharan, A., Walton, P., Bijinraj, P., & Raj, A. (2019). A review on analysis of HHO gas in IC engines. *Materials Today: Proceedings*, 11, 1117-1129. doi: 10.1016/j.matpr.2018.12.046, pp. 3-4
- [8] S. Jhang, Y. Lin, K. Chen, S. Lin y S. Batterman,
"Evaluation of fuel consumption, pollutant emissions and well-to-wheel GHG evaluation of an operation of a vehicle powered by bioethanol, gasoline and hydrogen", *Energy*, p. 118436, 2020. Disponible: 10.1016 / j. energy.2020.118436 [Consultado el 29 de julio de 2020]. pp. 4-5
- [9] V. Chintala, D. Benaerjee, P. Ghodke y E. Porpatham, "Hydrogen-rich exhaust gas recirculation (H2EGR) to improve performance and reduce emissions from a compression-ignition engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 33, pp. 18545-18558, 2019. Disponible: 10.1016 / j. ijhydene.2019.05.141 [Consultado el 29 de julio de 2020].
- [10] Kim, K. Chun, S. Song, H. Baek and S. Lee, "Hydrogen effects on the combustion stability, performance and emissions of a turbo gasoline direct injection engine in various air/fuel ratios", *Applied Energy*, vol. 228, pp. 1353-1361, 2018. Available: 10.1016/j.apenergy.2018.06.129 [Accessed 29 July 2020]. pp. 3-5
- [11] S. Akansu, S. Tangöz, N. Kahraman, M. İlhak and S. Açıkgöz, "Experimental study of gasoline-ethanol-hydrogen blends combustion in an SI engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 40, pp. 25781-25790, 2017. Available: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.014 [Accessed 29 July 2020]. pp. 3-5
- [12]"Manuales de Usuario y Reparación | Chevrolet", Chevrolet.com.ar, 2020. [Online]. Available: <https://www.chevrolet.com.ar/manuales-de-propietario>. [Accessed: 29- Jul- 2020].
- [13]FORCE Technology, 2020. [Online]. Available: <https://hidrogenoaragon.org/entidades/force-technology/>. [Accessed: 29- Jul- 2020].
- [14] Your Bibliography: Globaltech, E. (2020). Analizador de Gases Brain Bee - Modelo AGS-688 - Globaltech Ecuador. Globaltech Ecuador. Retrieved 25 July 2020, from <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>.
- [15] S. Serrano Vincenti, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios and M. Villacís, "Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el distrito metropolitano de quito", *Dspace.ups.edu.ec*, 2020. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8828>. [Accessed: 29- Jul- 2020]. pp. 2-4

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Reducir las emisiones contaminantes entre 3 a 4 %, mediante la adición de 0,5L/min de hidrógeno, comprendida hasta un 25% de carga, en los ciclos del motor otto.

Objetivos Específicos

- Realizar mediciones consecutivas añadiendo gasolina local e hidrógeno en partes controladas, llevando a cabo un proceso estadístico de los valores obtenidos para su análisis y comprobación.
- Determinar si el porcentaje que se añade al combustible local surte efectos positivos para reducir las emisiones contaminantes entre un 3 y 4 %.
- Analizar el comportamiento de los gases al adicionar el hidrógeno, como medida para solventar la disminución de las emisiones contaminantes en el régimen de carga del 25% del motor de ciclo otto.

Preguntas de la investigación

- ¿Cuál es la cantidad hidrógeno que se va a adicionar?
- ¿En qué régimen de carga del motor de ciclo otto se va a aplicar la adición de hidrógeno?
- ¿Cómo se va a adicionar el hidrógeno?
- ¿Qué método se va a utilizar para analizar los resultados de la investigación?

Fundamentación del problema (Importancia y Justificación)

Con la finalidad de contribuir con un estudio y alternativa tecnológica de una manera eficiente para reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna, se ha inclinado por el uso del hidrógeno como combustible adicional al combustible local, para lo cual su generación e inyección se lo realiza mediante un sistema de generación e inyección durante el proceso del ciclo de admisión del motor, teniendo en cuenta que este estudio es un pilar fundamental, para la implantación del avance tecnológico en ciudades de altura (respecto al nivel del mar) como es el caso de la ciudad de Quito - Ecuador, la misma que está a una altura promedio de 2850 metros sobre el nivel del mar.

Posibles Hipótesis

Al tener un combustible de mayor poder calórico, como es el caso del hidrógeno versus el combustible local, la unidad de control realiza ajustes de parámetros de inyección, al detectar auto detonaciones dentro del cilindro por el poder calórico del hidrógeno, va a realiza ajustes en la adición de combustible, permitiendo que el ancho de pulso de inyección se reduzca y por consiguiente la adición de combustible.

Anexo 1

P. Chitrakar, K. Shivaprasad, V. Nayak, P. Bedar y G. Kumar, "Un estudio experimental sobre el análisis de la combustión y las emisiones de un motor de gasolina de cuatro cilindros y cuatro tiempos que utiliza hidrógeno puro y GLP en condición inactiva", Energy Procedia , vol. 90, págs. 6-8, 2016. Disponible: 10.1016 / j.egypro.2016.11.220 [Consultado el 2 de junio de 2020].....Págs.6-8

Anexo 2

L. Él, L. Jingyuan, Y. Xiumin, L. Mengliang y Y. Tian, "Estudio numérico sobre las características de combustión y emisión de un motor de gasolina PFI con inyección directa de hidrógeno", Energy Procedia, vol. 158, págs. 3-5, 2019. Disponible: 10.1016 / j. egypro.2019.01.348 [Consultado el 3 de junio de 2020].....Págs.3-5

Anexo 3

[5] J. Murillo Aldaz, "Estudio de las curvas características de motor del vehículo chevrolet sail 2012 con el uso de hidrógeno como combustible.", Repositorio.uide.edu.ec, 2020. [Online]. Disponible: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1032>. [Consultado: 08- Jun-2020].....Págs.45-50

Anexo 4

E. Medioambientales, C. Ambiental and C. Ambiental, "OPS/OMS | Contaminación del Aire Ambiental", Pan American Health Organization / World Health Organization, 2020. [Online]. Available: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es. [Consultado el 4 de junio de 2020].....Págs. 1-2

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 5

S. Wang, C. Ji, B. Zhang y X. Zhou, "Análisis de la combustión de un motor de gasolina mezclado con hidrógeno a cargas elevadas y condiciones pobres", *Energy procedia*, vol. 61, págs. 3-6, 2014. Disponible: 10.1016 / j.egypro.2014.11.1116 [Consultado el 20 de junio de 2020].....Págs. 3-4

Anexo 6

S. Andrade Avalos y C. Beltrán Rojas, "Estudio comparativo de Torque y potencia en combustibles estatales distribuidos en la CAN a 2800 msnm", *Repositorio.uide.edu.ec*, 2020.[Online]. Disponible: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1699>. [Consultado: 11 de junio de 2020].....Págs. 17-19

Anexo 7

S. Serrano Vincenti, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios and M. Villacís, "Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el distrito metropolitano de quito", *Dspace.ups.edu.ec*, 2020. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8828>. [Consultado: 18- Jul-2020].....Págs. 2-4

Anexo 8

D. Herrera Barreiro y N. García Estrada, "Análisis de resultados de un sistema de inyección de agua / metanol, para reducir emisiones contaminantes", *Repositorio.uide.edu.ec*, 2020. [Online]. Disponible: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/119>. [Consultado: 15 de junio de 2020]..... Págs. 59-65

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Metodología Aplicada

Para la investigación realizada se utilizó el Método Cuantitativo, cual “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Sampieri, 2014)

Análisis de Varianza ANOVA

Como la estadística, conforma como una herramienta en el proceso de investigación y por consiguiente es parte de la metodología cuantitativa, El Análisis de Varianza ANOVA “Tiene una serie de principios que se concretan en modelos específicos de análisis llamados estadígrafos, que no son otra cosa que las pruebas estadísticas y éstas tienen un estrecho vínculo con la forma en que se mide el fenómeno conductual y el número de sujetos que conforman la muestra” (Lugo, 2015)

En si el conjunto de datos obtenidos en esta investigación son sujetos al análisis de varianza Anova, con la finalidad de identificación e interpretación adecuada, para saber si existe diferencia significativa en la medida de las pruebas realizadas.

Si desea investigar a profundidad respecto al tema del análisis de varianza ANOVA, puede direccionarse al Link de hipervínculo proporcionado a continuación:<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33860/secme16960.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, en dicho hipervínculo se encuentra toda la información respecto a este método de análisis de datos de un forma práctica ya que existe diferentes herramientas para aplicar el ANOVA, dentro de dicho documento se encuentra pasa a paso para utilizar este método mediante una herramienta tecnología de Office, la cual es el Excel

Metodología utilizada en la Investigación

Para la obtención de datos se utilizó el método experimental para lo cual a continuación en el Anexo 10, se describe de forma detalla todos los pasos a seguir para la obtención de datos.

Bibliografía

- Lugo, D. e. (2015). Análisis de Varianza, ANOVA 1, Problemas Estadísticos . En D. e. Lugo, *Análisis de Varianza, ANOVA 1, Problemas Estadísticos* (págs. 9-11). Ecatepec, Estado de México: Centro Universitario UAEM Ecatepec.
- Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la Investigación . México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Anexo 9

Equipos Utilizados en la Investigación

MOTOR	Marca	Chevrolet	 
	Modelo	Optra	
	Versión	1.789 LT	
	Potencia:	122 cv (90 kW - 121 hp)	
	Motor	4 cilindros (motor en línea)	
	Cilindrada	1799 cm	
	Distribución:	16 válvulas	
	Relación de Compresión	9-1	
	Par máximo	165 Nm (4000 tr/min)	
	Trasmisión	Tracción delantera, caja de cambios manual	
	Peso medio	1211 kg	
EQUIPO DE HIDRÓGENO	Modelo	H5	
	Corriente	DC- 12 V	
	Consumo	5 Amp/hora	
	Capacidad Litro /minuto	1.5 lt/min	
ANALIZADOR DE GASES	Marca	Brain Bee	
	Modelo	AGS688	
	Características técnicas	Valores	
	CO	De 0 A 9.99 %vol.	
	CO2	De 0 A 19.9 %vol.	
	HC hexano	De 0 A 9999 ppmvol	
	O2	De 0 A 25 %vol.	
	Lambda	De 0.5 A 5	
	Revoluciones	De 300 A 9990 rpm	
	Temp. Aceite	de 20 A 150 °C	

Fuente: Autor

Anexo 10

Procedimiento a detalle para la toma de datos mediante el analizador de gases AGS 688, para lo cual a continuación se detalla paso a paso el procedimiento a seguir.

Paso 1:

Encendemos el equipo presionando unos segundos el indicador de color rojo, posterior aparece una instrucción de MEDICION GASOLINA luego presionamos ENTER



Paso 2:

Al despegarse en la pantalla una indicación, en la cual muestra la FECHA DE CALIBRACIÓN, se procede a dar un ENTER como se muestra en el siguiente gráfico.



Paso 3

Posteriormente aparece una indicación CALENTAMIENTO ESPERE POR FAVOR como se muestra a continuación teniendo en cuenta que la sonda tiene que estar expuesta al ambiente.



Paso 4:

Una vez que se calentó el equipo aparece una indicación PRUEBA DE ESTANQUEIDAD CIERRE LA Sonda, para lo cual introducimos sonda en su alojamiento como se muestra el grafico siguiente



Paso 5

Al seleccionar ENTER, aparecerá PRUEBA DE ESTANQUEIDAD EN CURSO, esta prueba es necesaria para saber si la línea de la sonda se encuentra sin ningún daño, lo cual podría ocasionar lecturas incorrectas una vez que termina la prueba de estanqueidad, se proyecta PRUEBA DE ESTANQUEIDAD ACABADO, posterior seleccionamos ENTER.



Paso 6

Ya terminada la prueba de estanqueidad se despliega una indicación AUTOCERO EN CURSO, para lo cual aún no se debe retirar la sonda de su alojamiento como se muestra en el siguiente gráfico.



Paso 7

Una vez terminado el AUTOCERO en curso, aparecerá TEST HC RETIRE LA Sonda, para lo cual se retira la sonda y se procede a seleccionar ENTER.



Paso 8

Finalmente, en la pantalla se despliega TEST HC EN CURSO, una vez que empieza hacer esta prueba, aparecerá valores en la pantalla del equipo, se debe esperar unos segundos hasta que los valores se autoajusten, y posterior a ello está listo el equipo para hacer las mediciones.



Paso 9

Para hacer las mediciones es necesario calentar el vehículo a su temperatura de operación, en este caso se utilizó el indicador de temperatura en el panel de instrumentos del vehículo como se muestra el siguiente gráfico.



Paso 10

Una vez que se tiene listo el equipo AGS 688, y el vehículo a su temperatura de operación se procede a colocar la sonda teniendo en cuenta su seguro el cual tiene que está alojado en el interior del tubo de escape, antes de realizar la prueba se debe esperar unos segundos, que se estabilice los valore que se proyectan en el equipo AGS 688.



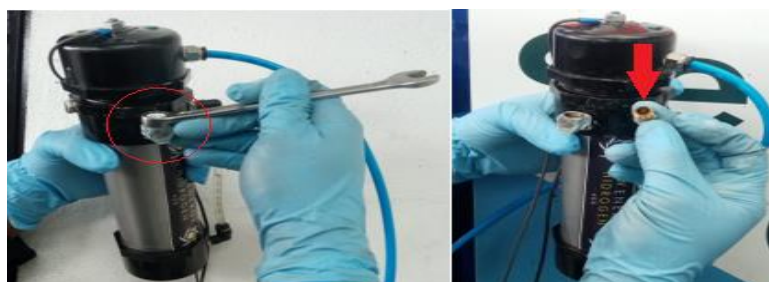
Paso 11

Una vez que se estabilizo los datos se procede acelerar a 2500 Rpm constantes prueba de carga dinámica, por un lapso de 15 segundos y se captura los datos, luego de ello dejar de acelerar y contabilizar 20 segundos prueba estática y capturar los datos, esta prueba se la realizo de forma cíclica en intervalos de 20 segundos.



Paso 12

Para la toma de datos añadiendo hidrógenos es necesario, tener listo el equipo, por lo cual continuación se muestra, los pasos a seguir, teniendo en cuenta que el equipo de hidrógeno H5, viene ensamblado completamente lo único que se debe es añadir agua, para lo cual se retira un tapón de cobre con una llave #12.



Paso 13

Posterior a retirar el tapón del equipo, se procede a llenar, de agua hasta que llegue a su nivel como se muestra el grafico siguiente, y se procede a cerrar el tapón.



Paso 14

Para la instalación del equipo en el vehículo, lo primero es la adecuación del cableado, en primera instancia se coloca un cable al positivo en la parte superior del equipo y otro al negativo en la parte lateral a la altura del tapón de llenado de agua.



Paso 15:

A continuación, se procede a colocar la manguera de color azul, tanto en el equipo, como en el vehículo para lo cual se retira un tapón del cuerpo de admisión del vehículo y se instala la manguera de color azul



Paso 16

Colocamos el positivo y negativo del equipo H5, a la batería del vehículo, finalmente tendremos instalado todo el equipo, para realizar las pruebas y obtener los datos es necesario repetir desde el paso 10 y 11.



Anexo 11

Fotografías prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.

Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Anexo 12

Fotografías prueba estática a 850 Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.

Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Normativas Aplicadas

Par la realizacion de la obtencion de datos mediante el metodo experimenta, esta investigacion se basa conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349, 2 203 y 2204 las cual permite analizar el procedimiento corecto para tomar de las lecturas deseas, para lo cual se adjunta dicha normativa con la finalidad de sustentar el procedimiento realizado.

Anexo 13

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349. Revisión Técnica Vehicular.
Procedimientos Recuperado 30/junio/2020
Disponible:https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos_inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component

Anexo 14

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “Ralenti”. Prueba estática. Recuperado 30/07/2020 Disponible: <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component>

Anexo 15

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 204. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. Recuperado 30/07/2020 Disponible: <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-017-2008?tmpl=component>

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos primarios:

Dentro de la obtención de los datos primarios encontramos los siguientes, los cuales facilitan la obtención de graficas al igual que la realización del análisis de varianza ANOVA de cada gas incluido el factor Lambda.

Anexo 16

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica a 2500 Rpm

CO [%]										
Gasolina	0,24	0,23	0,26	0,2	0,26	0,25	0,35	0,18	0,29	0,13
Gasolina + H	0,04	0,09	0,07	0,14	0,1	0,08	0,15	0,04	0,14	0,12
CO2 [%]										
Gasolina	13,4	13,7	13,3	12,4	11,9	12,1	12,7	12,6	12,1	12,9
Gasolina + H	14,1	14,2	14,2	14,2	14,3	14,2	14,4	14,1	14,2	14,2
HC [ppm]										
Gasolina	76	77	74	74	78	82	80	71	77	76
Gasolina + H	30	28	22	27	21	23	36	34	33	26
O2 [%]										
Gasolina	1,35	1,22	1,42	1,43	2,11	2,04	2,74	1,18	2,11	1,01
Gasolina + H	0,55	0,47	0,43	0,47	0,39	0,39	0,29	0,61	0,49	0,41
Lambda [-]										
Gasolina	1,056	1,049	1,06	1,057	1,105	1,1	1,127	1,053	1,102	1,045
Gasolina + H	1,024	1,019	1,017	1,017	1,015	1,015	1,091	1,027	1,018	1,015

Anexo 17

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba estática a 850 Rpm

CO [%]										
Gasolina	0,27	0,28	0,27	0,22	0,27	0,27	0,3	0,33	0,18	0,16
Gasolina + H	0,23	0,2	0,09	0,18	0,21	0,2	0,17	0,15	0,14	0,08
CO2 [%]										
Gasolina	12,8	12,4	12,1	13,1	12	12,4	12,1	12	12,3	12,4
Gasolina + H	11,8	13,3	13,9	13,4	13,3	13,5	13,5	13,6	13,5	14
HC [ppm]										
Gasolina	125	103	107	115	103	97	90	92	91	81
Gasolina + H	66	63	30	53	52	46	45	60	49	29
O2 [%]										
Gasolina	2,8	2,98	3,51	2,45	2,67	3,4	3,4	2,86	2,54	1,6
Gasolina + H	2,71	2,25	1,08	2,06	2,34	1,68	2	1,8	1,76	0,82
Lambda [-]										
Gasolina	1,131	1,145	1,17	1,113	1,133	1,168	1,171	1,142	1,12	1,077
Gasolina + H	1,142	1,104	1,048	1,094	1,109	1,075	1,092	1,082	1,081	1,036

Anexo 18

Análisis Estadístico

Este análisis se llevó a cabo mediante el análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, incluido el factor lambda de la prueba dinámica, conforme la tabla del Anexo 16.

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

ANOVA CO

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	2,39	0,239	0,00365444
Fila 2	10	0,97	0,097	0,00162333

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,10082	1	0,10082	38,2054737	7,7948E-06	6,51464178
Dentro de los grupos	0,0475	18	0,00263889			
Total	0,14832	19				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

ANOVA CO2

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	127,1	12,71	0,37211111
Fila 2	10	142,1	14,21	0,00766667

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11,25	1	11,25	59,2451726	4,2277E-07	6,51464178
Dentro de los grupos	3,418	18	0,18988889			
Total	14,668	19				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

ANOVA HC

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	765	76,5	9,83333333
Fila 2	10	280	28	27,11111111

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	11761,25	1	11761,25	636,699248	1,6857E-15	6,51464178
Dentro de los grupos	332,5	18	18,4722222			
Total	12093,75	19				

ANOVA 1, del Oxígeno

ANOVA O2

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	16,61	1,661	0,30765444
Fila 2	10	4,5	0,45	0,00808889

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7,332605	1	7,332605	46,446618	2,2181E-06	6,51464178
Dentro de los grupos	2,84169	18	0,15787167			
Total	10,174295	19				

ANOVA 1 del Factor Lambda

ANOVA LAMBDA

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	10,754	1,0754	0,00088071
Fila 2	10	10,258	1,0258	0,00054084

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0123008	1	0,0123008	17,3061122	0,00058817	6,51464178
Dentro de los grupos	0,012794	18	0,00071078			
Total	0,0250948	19				

Anexo 19

Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, incluido el factor lambda de la prueba estática, conforme la tabla del Anexo 17.

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

ANOVA CO

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	2,55	0,255	0,00278333
Fila 2	10	1,69	0,169	0,00281

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,03698	1	0,03698	13,2228844	0,00188823	6,51464178
Dentro de los grupos	0,05034	18	0,00279667			
Total	0,08732	19				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

ANOVA CO2

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	123,6	12,36	0,12711111
Fila 2	10	133,8	13,38	0,36177778

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5,202	1	5,202	21,2809091	0,00021593	6,51464178
Dentro de los grupos	4,4	18	0,24444444			
Total	9,602	19				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

ANOVA HC

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	1004	100,4	170,044444
Fila 2	10	493	49,3	157,344444

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	13056,05	1	13056,05	79,7586628	4,9401E-08	6,51464178
Dentro de los grupos	2946,5	18	163,694444			
Total	16002,55	19				

ANOVA 1, del Oxígeno

ANOVA O2

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	28,21	2,821	0,32252111
Fila 2	10	18,5	1,85	0,32217778

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4,714205	1	4,714205	14,6245172	0,00124254	6,51464178
Dentro de los grupos	5,80229	18	0,32234944			
Total	10,516495	19				

ANOVA 1 del Factor Lambda

ANOVA LAMBDA

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Fila 1	10	11,37	1,137	0,000868
Fila 2	10	10,863	1,0863	0,00091046

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,01285245	1	0,01285245	14,4534959	0,00130621	6,51464178
Dentro de los grupos	0,0160061	18	0,00088923			
Total	0,02885855	19				

Anexo 20

Porcentajes de varianza positiva y negativa de los promedios generados en el análisis de varianza ANOVA del Anexo 18, Prueba dinámica.

Gasolina		Gasolina +H	
CO %	0,239	0,097	-59%
CO2 %	12,71	14,21	12%
HC ppm	76,5	28	-63%
O2 %	1,661	0,45	-73%
Lambda (-)	1,0754	1,0258	-5%

Anexo 21

Porcentajes de varianza positiva y negativa de los promedios generados en el análisis de varianza ANOVA del Anexo 19, Prueba Estática

Gasolina		Gasolina +H	
CO	0,255	0,169	-34%
CO2	12,36	13,38	8%
HC	100,4	49,3	-51%
O2	2,821	1,85	-34%
Lambda	1,137	1,0863	-4%

