



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz.

AUTORES:

Joel Mateo Perugachi Jiménez
Daniel Mateo Espinoza Burneo

TUTOR:

Prof. Cristian David Oña Rodríguez, Ing. PhD(c)

“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE NOX CON LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO EN UN MOTOR CLICLO OTTO”

QUITO – ECUADOR | 2023

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Joel Mateo Perugachi Jiménez y Daniel Mateo Espinoza Burneo, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Joel Mateo Perugachi Jiménez



Daniel Mateo Espinoza Burneo

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Prof. Cristian David Oña Rodríguez, Ing. PhD(c)**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:
**CRISTIAN DAVID OÑA
RODRIGUEZ**

Firma profesor

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios por darme fortaleza y por ser mi guía cada día.

A mis padres, Diego y Adriana, que son mis ejemplos por seguir, por todo su apoyo y amor incondicional, alentándome con consejos, enseñanzas y por todo el esfuerzo que realizan cada día.

A mi hermana, que con ella comparto mis alegrías y logros, a mis abuelitos que siempre están pendientes y me brindan apoyo y amor, a mis tíos por estar apoyándome y alentándome para salir adelante.

Joel Perugachi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mi familia y a mi querida pareja. Su apoyo incondicional y amor constante han sido la fuente de inspiración que me ha impulsado a alcanzar este logro académico. Cada paso que he dado en este camino ha sido guiado por su aliento y confianza en mí. Este trabajo es un tributo a su presencia significativa en mi vida.

Daniel Espinoza

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos mis profesores que me guiaron y formaron como profesional, brindándome sus conocimientos. A mi director de tesis, el cual fue un apoyo en el transcurso universitario, brindándome su confianza y orientación en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de aula por todos los momentos compartidos por ser la compañía y apoyo a lo largo de esta vida universitaria.

A mi familia por el apoyo y fortaleza que me brindan en todo momento para seguir adelante, y por su guía para cumplir mis objetivos y metas.

Joel Perugachi

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis profesores y mentores por su orientación experta en el desarrollo de esta tesis. También agradezco a mis amigos por su constante apoyo y compañía a lo largo de este emocionante viaje. Además, quiero agradecer especialmente a mi pareja, cuyo amor incondicional y comprensión han sido un pilar fundamental en cada etapa de este proceso. Su paciencia y aliento han sido mi motor en momentos de desafío. A todos los que han contribuido a mi crecimiento y éxito en esta tarea, les estoy sinceramente agradecido.

Daniel Espinoza

ÍNDICE DE CONTENIDO

Certificación de autoría	iii
Aprobación del tutor	iv
Dedicatoria	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Agradecimiento	viii
Indice de contenido.....	9
Resumen.	11
Introducción.....	12
Fundamentacion teórica.....	13
Materiales y métodos.....	15
Resultados y discusion	19
Referencias bibliográficas	25
ANEXOS INTRODUCCIÓN	27
Anexo 1 Mayorga, B., & Daniel, S. (2020). 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. QUITO/UIDE/2020. págs. 6-24, 2020.Disponible: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4509 [Consultado el 02 de enero, 2023)	Págs.6-24..... 28
Anexo 2 Haodan Cheng a et al. (2022) Application progress of small-pore zeolites in purifying nox from Motor Vehicle exhaust, Chemical Engineering Journal. Elsevier. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137795 (Consultado:08 de Jun, 2023)	Págs.2-6..... 28
Anexo 3 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 de Jun, 2023)	Págs.30-50..... 28
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	28
Anexo 4 Gelu Varghese a et al. (2022) Effects of biodiesel degree of unsaturation, chain length and physical properties on tailpipe oxides of nitrogen (NOx), Journal of the Energy Institute. Elsevier. Available at: https://doi.org/10.1016/j.joei.2022.10.001 (Consultado 13 de febrero, 2023).....	Págs. 7-10 28
Anexo 5 S. Andrade Avalos y C. Beltrán Rojas, "Estudio comparativo de Torque y potencia en combustibles estatales distribuidos en la CAN a 2800 msnm", <i>Repositorio.uide.edu.ec</i> , 2020.Online]. Disponible: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1699 . [Consultado: 20 de marzo de 2023].....	Págs. 17-19 29
Anexo 6 Antonio García et al. (2022) Impact of low carbon fuels (LCF) on the fuel efficiency and NOx emissions of a light-duty series hybrid commercial delivery vehicle, Fuel. Elsevier. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124035 [Consultado: 22 de marzo 2023].....	Págs. 2-4 29

Anexo 7 Herrera Barreiro, D.S. and García Estrada, N.R. (2014) Análisis de resultados de un sistema de inyección agua/metanol, Para reducir Emisiones contaminantes, Repositorio Digital UIDE: Home. QUITO / UIDE / 2014. Available at: https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/119 (Consultado: 19 de abril, 2023). Págs.....	8-10.....	29
ANEXOS MATERIALES Y METODOS		29
Anexo 8 Equipos Utilizados en la Investigación.....		31
Anexo 9 En este anexo se detalla el paso a paso para proceder a tomar los datos mediante el equipo de analizador de gases AGS 688, al igual que la conexión del equipo MGT_300 EVO		33-47
Anexo 10 Hallazgos de la investigación.....		69-49
Anexo 11 Datos de la prueba de marcha mínima 800RPM toma de datos sin la adición de Hidrógeno.....		49-54
Anexo 12 Datos de la rueba de marcha mínima 800 RPM con adición de hidrógeno		54-59
Anexo 13 Datos de la prueba Dinámica a 2500 RPM sin Hidrógeno		59-64
Anexo 14 Datos de la prueba Dinámica a 2500 RPM con la adición de Hidrógeno.. ..		64-69
Anexo 15 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		69
Anexo 16 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		69
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN		70
Anexo 17 Tabla descriptiva de los datos, de la prueba de marcha mínima del factor Lambda, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.....		70
Anexo 18 Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica del factor Lambda, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.....		70
Anexo 19 Tabla descriptiva de los datos, de la prueba de marcha mínima, de los NOx, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.....		70
Anexo 20 Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica de los NOx, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.....		70
Anexo 21 Análisis Estadístico análisis se llevó a cabo mediante el análisis de varianza ANOVA 1, este caso lo realizamos del factor Lambda y de los NOx conforme las tablas del Anexo 17-20.....		71
Anexo 22 Análisis del ANOVA de los NOx, tanto en marcha mínima como la prueba dinámica		702

“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE NOX CON LA ADICIÓN DE HIDRÓGENO EN UN MOTOR CICLO OTTO”

Prof. Cristian Oña¹, Joel Perugachi.² Daniel Espinoza ³

¹Ingeniería en Mecánica Automotriz, PhD (c) Ciencias de la educación
cronaro@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador
joperugachiji@uide.edu.ec, Quito – Ecuador
daespinozabu@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

Resumen.

Introducción: La emisión de gases contaminantes producidos por el motor de combustión interna de ciclo Otto sea focalizado en el gas NOx, debido a que es causante de enfermedades respiratorias en los seres humanos. El presente artículo de investigación buscará evidenciar los hallazgos del análisis con respecto al proceso de combustión con la adición de hidrogeno diferenciando el proceso de combustión del motor de ciclo Otto con la finalidad de cuantificar la variación de los NOx mediante el analizador de gases. **Metodología:** Se aplicó una investigación cuantitativa utilizando un método experimental y la observación de datos que se midieron mediante el analizador de gases y la normativa NTE INEN 2349. Para la manipulación de datos mediante la cantidad de hidrogeno inyectado en el múltiple de admisión. Obteniendo un registro de variables que permitan aplicar el análisis de varianza ANOVA a fin de poder demostrar la hipótesis. **Resultado:** los resultados demostraron que inyectando hidrogeno en el proceso de combustión se pudo obtener la variación de valores de 12,7 a 4,3 ppm de NOx en el régimen de prueba en aceleración y el caso del régimen de marcha ralentí de 23,6 a 14,1ppm de NOx, presentando las gráficas donde se visualizó el comportamiento de la variación de NOx. **Conclusión:** los valores obtenidos muestran que la variación de NOx en el proceso de combustión tiene dos aristas de análisis, en la primera fase de la prueba de marcha ralentí tenemos una reducción de -40,25% ppm de NOx y en la segunda fase de la prueba de aceleración se reduce -66,14ppm NOx, todos los datos obtenidos se procesaron mediante la herramienta estadística ANOVA donde se demuestra la variación de datos que concluyen la investigación realizada dentro de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión ciclo otto.

Palabras claves: Variación de NOx, Adición de hidrogeno, Análisis de gas NOx, ANOVA

Abstract.

Introduction: The emission of polluting gases produced by the Otto cycle internal combustion engine is focused on NOx gas, because it causes respiratory diseases in humans. This research article will seek to demonstrate the findings of the analysis regarding the combustion process with the addition of hydrogen, differentiating the combustion process of the Otto cycle engine in order to quantify the NOx variation through the gas analyzer. Methodology: A quantitative investigation was applied using an experimental method and the observation of data that were measured by the gas analyzer and the NTE INEN 2349 standard. For data manipulation through the amount of hydrogen injected into the intake manifold. Obtaining a record of variables that allow applying the ANOVA analysis of variance in order to be able to demonstrate the hypothesis. Result: the results showed that by injecting hydrogen into the combustion process it was possible to obtain the variation of values from 12.7 to 4.3 ppm of NOx in the test regime in acceleration and in the case of the idling regime of 23.6 at 14.1ppm of NOx, presenting the graphs where the behavior of the NOx variation was visualized. Conclusion: the values obtained show that the variation of NOx in the combustion process has two edges of analysis, in the first phase of the idling test we have a reduction of -40.25% ppm of NOx and in the second phase of the acceleration test is reduced -66.14ppm NOx, all the data obtained were processed using the ANOVA statistical tool where the variation of data that concludes the investigation carried out within the operating parameters of the otto cycle combustion engine is demonstrated

Keywords: Variation of NOx, Hydrogen addition, Nox gas analysis, ANOVA

Introducción

Una de las interrogantes que se plantea en esta investigación busca demostrar el efecto que tiene el hidrogeno en el proceso de combustión del motor de ciclo Otto, tomando las mediciones de gases de combustión en el tubo de escape el cual es el resultado obtenido en forma cuantitativa, se ha focalizado en el gas NOx para analizar su variación de los datos a través de pruebas cíclicas que permitan realizar una caracterización de su comportamiento.

La constante evolución de las tecnologías referente a la reducción de gases contaminantes es hoy en día un tema de análisis el cual lleva cuestionar cuanto tiempo de vida le queda al motor de ciclo Otto, ya que las exigencias son cada vez más condenatorias por parte de las organizaciones gubernamentales, las cuales han desarrollado regulaciones, estableciendo así límites máximos permitidos de emisiones contaminantes para la industria automotriz, dentro de los organismos según la afirmación, Sánchez, et al., (2018),

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Agencia Europea del Medio Ambiente (EURO), la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos organismos controlan la generación del dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y el material particulado (PM), estos organismos antes citados, su principal objetivo es asegurar la calidad del aire para mitigar la polución de las grandes industrias automotrices (pp. 10-18), Pero en nuestro país Ecuador, es un temas que no se encuentra al cien por ciento aplicable ya que en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2349 sección 5.1.1.10), no se establece el proceso de medición de los NO_x a los motores de ciclo otto, teniendo en cuenta que en dicha normativa no se menciona la medición de NO_x, para analizar los gases se exige que el equipo tenga una actualización a 5 gases, siendo el ultimo los NO_x pero no se la toma en el proceso de medición, por tal motivo esta investigación se centra en un artículo realizado por Stalin Benavides, M. D.(UIDE) “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”.(Benavides, 2020, pp. 3).

Teniendo en cuenta que en dicha investigación se enfoca en una medida para reducir los gases contaminantes como es: el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (H), según los que se estipula la normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2349 sección 5.1.1.10, por tal motivo esta investigación busca evidenciar la variación que existe en cuanto a los NO_x, y saber que sucede con este gas, de esta forma contribuir con el desarrollo tecnológico para la industria automotriz sin descuidar los NO_x, ya que este gas es nocivo para la salud humana por tal motivo que las organizaciones antes mencionadas buscan la reducción de los NO_x para mitigar la polución del planeta. Los óxidos de nitrógeno como los conocemos engloban tanto al monóxido (NO) como al dióxido de nitrógeno (NO₂), siendo este último el principal gas con efectos negativos a la salud humana (Inflamación o afecciones de las vías respiratorias) ya que el (NO) al no oxidarse de una forma tan fácil permite la generación de (NO₂) una vez que está presente en la atmosfera.(Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre: nuevos datos de la OMS - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, 2022).

Cabe mencionar que esta información es actualizada del mes de abril 2022, de la base de datos de calidad del aire de la OMS, tenemos datos presentes de la primera medición de NO_x en tierra dando como resultado que los dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado de un diámetro igual o inferior a 10 µm (PM 10) o igual o inferior a 2,5 µm (PM 2,5) con el objetivo

de representar un promedio para la ciudad o pueblo en su conjunto, los datos obtenidos según la ONU afirman que dicho particulado se ha sextuplicado la notificación de datos, desde la puesta en marcha de la base de datos en 201, (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico Plaza San Juan de la Cruz, 10 28071 Madrid España, Óxidos de Nitrógeno 2020). Es por ello por lo que dicho gas se lo lleva al punto de análisis para buscar una solución medioambiental, en nuestro medio tenemos una investigación realizada por Stalin Benavides, M. D. (UIDE) el cual extiende una alternativa para reducir emisiones contaminantes mas no se analiza los NOx, con la presente investigación de la variación de NOx se pretende buscar los hallazgos del comportamiento de la combustión con la adición de hidrogeno en el motor ciclo Otto.

Fundamentación Teórica

En la búsqueda de las investigaciones referentes al análisis del comportamiento de los NOx en la actualidad tenemos un problema que no se lo presta con la debida atención, es por ello por lo que es necesario entender por qué se generan los NOx, para lo cual tenemos un boletín técnico Óxidos de nitrógeno (NOx), ¿por qué y cómo se controlan? Publicado EPA (Environmental Protection Agency) “Las emisiones de NOx provenientes de la combustión son principalmente en la forma de NO. De acuerdo con las ecuaciones Zeldovich, el NO es generado hasta el límite del oxígeno disponible (alrededor de 200,000 ppm) en el aire a temperaturas por encima de 1300°C (2370°F). A temperaturas menores de 760°C (1,400°F), el NO es generado a concentraciones mucho más bajas o no se genera en absoluto. El NO de combustión es generado en función de la relación aire a combustible y es más pronunciado cuando la mezcla está del lado magro en combustible de la relación estequiométrica 50 (la relación de las sustancias químicas que entran en reacción). Las ecuaciones Zeldovich son:
N₂ + O -> NO + N
N + O₂ -> NO + O
N + OH -> NO + H”.

Según la afirmación, Veintimilla, P.F. (2019), “los motores de combustión interna generan óxidos de nitrógeno con proporción variable de NO y NO₂, por consiguiente, es necesario presentar investigaciones respecto a las afecciones de estos gases en la salud humana” (pp.-23). Una de ellas relaciona de forma directa a los dióxidos de nitrógeno (NO₂), el cual es emitido principalmente por los motores diésel y gasolina y “Se lo asocia con una estimación de 10 000 muertes prematuras por PM 2.5 y el ozono en la población adulta mayores de 30 años se las puede asociar y atribuir a las emisiones de NOx, como lo menciona en un artículo publicado por la ONU” (Jonson, et al., 2017, p. 2-6).

En el mismo boletín técnico Óxidos de nitrógeno (NOx), ¿por qué y cómo se controlan? Publicado EPA (Environmental Protection Agency) citado anteriormente expresa que “Los automóviles y otras fuentes móviles contribuyen alrededor de la mitad de los NOx que son emitidos. "Las calderas de las plantas termoeléctricas producen alrededor del 40% de las emisiones de NOx provenientes de fuentes estacionarias." (Hojas de datos EPA: Óxidos de Nitrógeno (NOx), Estrucplan). Las emisiones sustanciales provenientes de fuentes antropogénicas tales como las calderas industriales, incineradores, turbinas de gas, motores estacionarios de diésel y de encendido por chispa, fábricas de hierro y acero, manufactura de cemento, manufactura de vidrio, refinerías de petróleo, y manufactura de ácido nítrico. " Las fuentes naturales o biogénicas de óxidos de nitrógeno incluyen los relámpagos, incendios forestales, incendios de pastos, árboles, arbustos, pastos, y levaduras." (Hojas de datos EPA:

Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Estructplan) Estas fuentes diversas producen diferentes cantidades de cada óxido. Las fuentes antropogénicas se pueden mostrar aproximadamente como Fuentes Móviles 50%, Plantas Termoeléctricas con 20%, Todas las Demás 30%”.

Por otra parte. Hernández, E.J.A. et al. (2016), afirma que “para el análisis de este gas (NO_x), se desarrolló la espectroscopia óptica de absorción diferencial con múltiples ejes (MAX-DOAS) el cual es un instrumento de medición espectroscopia de absorción óptica la cual permite medir los NO₂ en diferentes ángulos de elevación para saber la cantidad de concentración de este gas, esta investigación esta direccionada a la ciudad de México”, (p. 4)

Existe un artículo, en el cual la investigación de Zhao, Huang, Yu, Guo, Li y Wang. (2022), “hacen hincapié de una combinación ideal, entre tres sistemas, el primero el modo GDI (Gasoline Direct Injection), un sistema de adición de HHO (hidrógeno), y por ultimo un sistema EGR (Exhaust Gas Recirculation), en esta investigación de gran aporte científico ratifica que en condiciones pobres, al tener 16L/min HHO y $6\% \leq EGR \leq 12\%$ es la combinación óptima, la cual mejora efectivamente la combustión del motor y emisiones del motor gasolina, dichas emisiones se comportan de la siguiente manera el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) en general disminuyen al tener un mayor aumento del HHO, el HHO en 16L/min y la EGR menos del 6%, el CO y los HC están siempre en descenso pero los óxido nítrico(NO), este gas no se mantiene al contrario aumenta el HHO aumenta la generación de NO, es por ello que la condición ideal mantener una combustión y unas emisiones estables en condiciones pobres es la que se mencionó anteriormente 16L/min HHO y $6\% \leq EGR \leq 12\%$. (p. 2-4). Cabe mencionar que en esta investigación se analiza en condiciones pobre y la adición de hidrógeno está diseñada con relación a un motor GDI, y la investigación desarrollada está enfocada en un motor de inyección multipunto, en el cual la temperatura de la cámara del motor es menor al motor GDI. Dentro de los procesos para mejorar la generación de NO_x se tiene varias investigaciones, luego de un minucioso estudio se presenta la siguiente investigación en la cual, Leishman, Mazzone, Sun, Bekris, Papaioannou, Li, y García. (2023) “analizan los sistemas catalíticos más eficientes, de la cual una se destaca, la reducción catalítica selectiva (SCR) de NO_x, utilizando un reductor a base de amoníaco siendo este generalmente urea, esta tecnología está liderando el mercado a nivel mundial, como medida para reducir y controlar los NO_x en vehículos de motores de combustibles fósiles, los catalizadores SCR disponibles comercialmente pertenecen a tres categorías principales, que se implementan de acuerdo con el entorno de los gases de escape: zeolitas basadas en hierro (Fe), zeolitas basadas en cobre (Cu) y basadas en vanadio (V)”. (p. 4-6). Una investigación respecto al Estudio comparativo del uso del hidrógeno frente a combustibles fósiles en motores de combustión interna en Buques, Calatayud, J.J.de T. et al. (2017). “Menciona que el HHO trabaja aun en una condición de mezcla pobre, en la cual la cantidad de combustible es menor de la cantidad estequiométrica necesaria para el proceso de combustión como tal (Aire- combustible), por tal motivo en la investigación resalta que al adicionar el hidrógeno lo que se genera que el proceso de combustión sea más completo, generando así una temperatura final de combustión más baja, por consiguiente, se reducen la generación de NO_x” (p.6-7).

Conforme a las investigaciones realizadas las cuales están expuesta a cualquier análisis, se puede decir que los NO_x, son generados por altas temperaturas de combustión en el caso del motor de ciclo otto, y al ingresar un gas con mayor poder calórico que el combustible local ocasiona que la unidad de gestión de control reajuste parámetros de adición de combustible a la mezcla permitiendo así que la falta de combustible sea compensado por el hidrógeno esto

ocasiona como se lo dijo anterior mente que los NOx se reduzcan por que la mezcla con hidrógeno genera una combustión más completa, y lo que ocasiona que los gases bajen, en condiciones pobre nivel de rpm relanti.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un motor de ciclo otto dicho vehículo es de iguales características utilizadas en la investigación de “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” (Benavides, 2020), con la finalidad de no afectar o sufrir toma de datos que alteren el escenario contemplado en dicha investigación

Para el proceso de medición se utilizó un equipo; Brain Bee el equipo es origen italiano; cumple con la norma de calidad Europea NORMA UNE 8251:2004 de igual manera con la norma alemana (ISO 9001), para la generación de hidrógeno se utilizó un equipo de las mismas características de la investigación mencionadas en la cita (Benavides, 2020), este equipo es un H5 de producción americana. En la Tabla 1 se describe de forma detalla las especificaciones técnicas de cada equipo.

Tabla 1

Características técnicas de los materiales

MOTOR	Marca	Chevrolet
	Modelo	Opra
	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 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
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 he xano	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
Sonda de NOx	Prueba continua.	

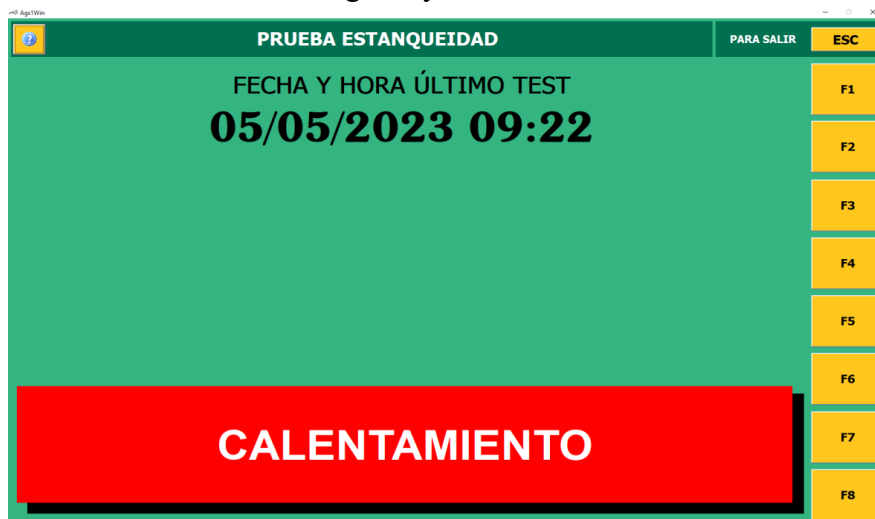
Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza, basado en "Manuales de Usuario y Reparación | Chevrolet", (2020), FORCE Technology, (2020), Globaltech, E. (2020).

Dentro de la investigación, (Benavides, 2020), se resume los materiales utilizador en dicha investigación, de tal manera que dichos materiales están descritos y permite replicar las condiciones para investigación, mediante la obtención de datos se permite analizar de una manera específica los valores arrojados por el analizador de gase, gracias al tener un motor muy versátil es posible aplicar de forma indirecta el hidrógeno permitiendo así que las lecturas de datos sean lo más objetivas, cabe mencionar que el equipo de analizador de gases AGS688, se encuentra homologado y con la calibración durante el año en curso, esto permite que los datos obtenidos tengan un respaldo de dicha homologación como tal, este equipo mediante una sonda de NOx permite analizar este gas en los motores de ciclo Otto con combustible gasolina. Esta investigación se la realizo en la ciudad de Quito, según como lo afirma, Vincenti, Moscoso, Jácome, Palacios y Villacís, (2020), “Los cuales mencionan que la ciudad de Quito se encuentra 2850 msnm, cabe recalcar que se tiene una presión atmosférica de 72.795 kPa y no esta demás mencionar que la temperatura ambiente tiene un promedio de 300 K. (p. 2-4). Teniendo en cuenta estas variantes, se estableció tres etapas.

La primera etapa, iniciamos el precalentamiento por parte del equipo Brain Bee para ello es necesario seguir todas las instrucciones ver el Anexo 9, de igual forma se realiza un calentamiento del motor de ciclo Otto hasta la temperatura de operación 85 – 95°C, para realizar cada una de las pruebas, con la finalidad de que cada uno alcance una temperatura de ciclo de trabajo esto permite que la temperatura por parte del motor de ciclo Otto, no afecte a la toma de datos ya que al estar fuera de temperatura de operación el motor, la unidad de control (ECU) realizara ajustes para los parámetros de pulsos de inyección, enriqueciendo la mezcla aire-combustible para alcanzar la temperatura de operación, todo esto se lo realizo con la finalidad de que no secabe mencionar que dicho procedimiento solo se lo realizo en al iniciar esta primera etapa.

Gráfico1

Precalentamiento del Analizador de gases y el Motor del Vehículo



Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

Continuando con la fase calentamiento el equipo requiere una prueba de estanqueidad para testear que el ducto de la sonda se encuentre hermético y esto no afecte a la lectura de datos, para ello es necesario seguir las instrucciones que se muestran en el gráfico 2, una vez que concluido el testeo se presiona F1 para continuar.

Gráfico 2

Prueba de estanqueidad y Auto calibración del equipo AGS688

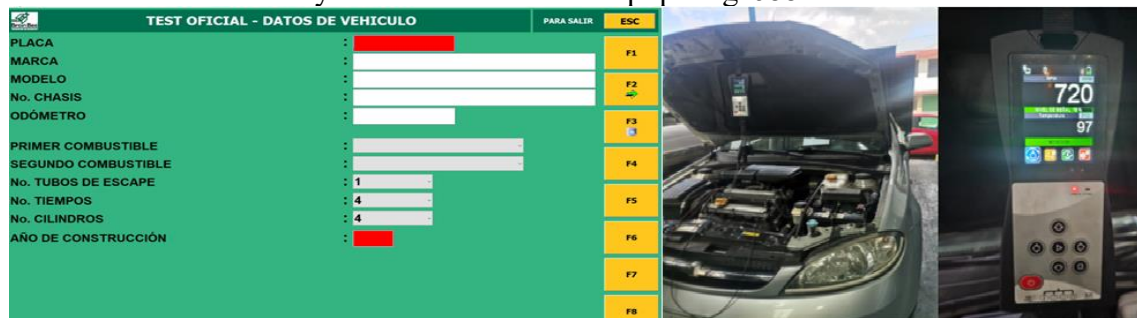


Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

Se procede a colocar toda la información inicial del vehículo antes de empezar a realizar las mediciones, cabe mencionar que es fundamental colocar el aditamento del equipo el cual analiza la temperatura del motor; temperatura de operación 85°C para poder ingresar al bucle de testeo; y las RPM del motor como se muestra en el gráfico 3, esto valida que las lecturas que se va a testear tenga los parámetros iniciales del motor ciclo Otto y no se vean afectadas de alguna forma, siendo estas las condicionales del equipo para poder realizar las pruebas con el programa del analizador de gases.

Gráfico 3

Colocación de la sonda y estabilidad de datos Equipo Ags688



Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

En la segunda etapa, es determinante ya que se procede a realizar un ciclo de 10 pruebas, las cuales comprende mediante la normativa NTE INEN 2349, en estas primeras pruebas la condicional es sin la adición de hidrógeno, posterior se repite un ciclo de 10 pruebas con la condicional es con Hidrogeno. Para la toma de datos mediante el analizador de gases se utilizó la normativa NTE INEN 2349, la cual especifica el tiempo de 30 en aceleración con un régimen de motor de 2400 – 2600 RPM, después de cumplir con este tiempo, pasa contabilizar 30 segundos donde se realiza la toma de datos de la prueba de régimen de Ralentí comprendida 500 – 1200 RPM, este ciclo de 10 pruebas se las realizo de manera continua con la finalidad de evitar que las lecturas tengan variaciones en las condiciones iniciales descritas en la primera etapa.

Uno de los hallazgos que se pudo evidenciar en las primeras pruebas con el analizador de gases que fueron medidas en la salida de caño de escape, ocurría una mínima variación del NOx y los valores no eran relevantes, lo cual llevo a indagar otra ubicación del sistema de escape para toma de datos, la alternativa viable fue realizar una perforación en la parte posterior del catalizador para obtener una valores de los NOx más relevantes para su análisis, la justificación para este hallazgo es que la temperatura de sistema de escape en el caño de salida al tener una trayectoria de los gases por el sistema de escape, intercambiaba la temperatura con la atmosfera y los valores de los NOx decrecían.

Gráfico 4

Colocación de la sonda en la parte posterior del escape, perforación del escape post-catalizador



Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

En la tercera etapa se añade hidrógeno de forma indirecta, es decir, que se añade en forma de gas en la admisión en las cantidades antes en mención, para lo cual, se instala el equipo H5 generador de hidrógeno directo a la batería para que pueda realizar el proceso de electrolisis, como se muestra en el grafico 4, con esta condicionante se procede a realizar el procedimiento similar de la fase dos, permitiendo así tomar 10 ciclos de pruebas, pero con adición de hidrógeno

Gráfico 5:

Instalación del Generador de hidrógeno Modelo H5



Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

Para determinar la variación NOx se analizar en función de la relación lambda, esto permite ser procesados los datos mediante la herramienta estadística de varianza (ANOVA), Anexo 17-20, con el objetivo de sustentar la parte metodológica de la investigación, donde la investigación partes de dos métodos, el cuantitativo por la herramienta estadística ANOVA y experimental con la toma de datos de forma práctica mediante el analizador de gases.

Resultados y discusión

Para la prueba a régimen de ralentí de 700 a 1200 RPM a un régimen de ralentí 25 % de carga de motor, se obtuvieron 10 datos de los cuales como se mencionó se basó en los NOX y el factor LAMBDA, con la finalidad de establecer la relación con y sin adición de hidrógeno para lo cual se encuentran detallados en el Anexo 17 y 19, de lo cual establecimos los promedios de dicho gas, incluyendo el factor lambda y el análisis de varianza (ANOVA), especificados en la tabla 2.

Tabla 2

Promedios de prueba estática etapa uno y dos

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	ANOVA	
			F	F. crítico
NOX ppmVol	23,6	14,1	49,7397428	4,41387342
Lambda (-)	1,0743	1,0721	0,71060359	4,41387342

Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

Para la prueba en aceleración de 2400 a 2600 RPM, la toma de datos como tal se encuentran en el Anexo 18 y 20, de igual forma se obtuvieron los promedios tanto del NOX, el factor Lambda y el análisis de varianza (ANOVA), como se especifica en la tabla 3

Tabla 3

Promedios de prueba Dinámica etapa uno y dos.

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	ANOVA	
			F	F. crítico
NOX ppmVol	12,7	4,3	121,655172	4,41387342
Lambda (-)	1,0361	1,0336	0,0401691	4,41387342

Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

Con respecto al análisis de la prueba en ralentí los datos establecidos en la tabla 2, presentan variación porque están sustentados en análisis de varianza (ANOVA), a un 98% de confiabilidad, en el caso de los NOx; los cuales son el objeto de análisis; presenta un descenso significativo ya que tiene un promedio de 23,6 (ppmVol), reduce a un 14,1 (ppmVol) al utilizar gasolina más hidrógeno de forma indirecta, por lo tanto en el análisis de varianza se tiene que su factor F de 49,7397428 siendo su factor crítico 4,41387342 por tal motivo se rechaza rotundamente a la hipótesis nula, ya que el factor F, es superiores al F crítico, en el caso de Lambda no sucede lo mismo ya que la variación promedio es mínimo comprendida en 1,0743 se reduce a 1,0721 y en este caso Factor F es de 0,71060359 siendo su factor crítico 4,41387342 por tal motivo se acoge a la hipótesis nula, ya que el factor F, es inferior al F crítico, del tal manera que mejora Lambda pero para el análisis de varianza no es significativo, con ello no se prende decir que ese cambio significativo no afecte a mejorar la relación estequiométrica, ya que la teoría expresa que mientras más se aproxime el factor lambda a 1 la generación de gases contaminantes es menor, y ese mínimo cambio ve reflejado en la generación de NOX.

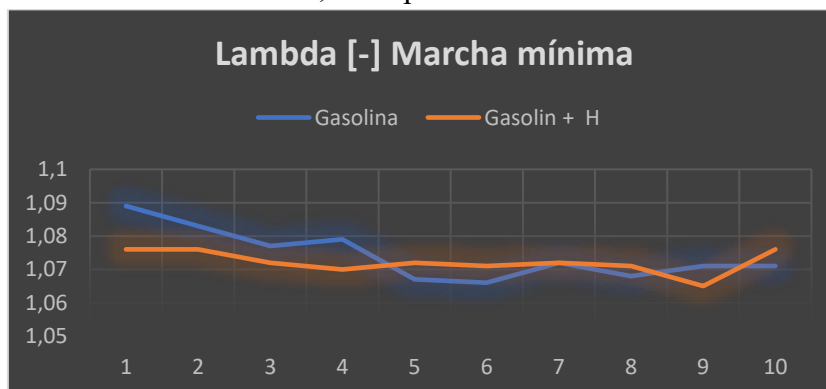
En la prueba en aceleración tiene una similitud con los NOx, existe un decrecimiento significativo de 12,7 (ppmVol), el cual se reduce a un valor de 4,3 (ppmVol) al utilizar gasolina más hidrógeno de forma indirecta, por lo tanto en el análisis de varianza se tiene que su Factor F de 121,655172 siendo su factor crítico 4,41387342 por consiguiente se rechaza a la hipótesis nula, ya que el factor F, es superiores al F crítico, en el caso de Lambda no sucede lo mismo al igual que el caso anterior ya que su variación promedio es mínimo de un valor promedio un promedio de 1,0361 y se reduce a 1,0336 y en este caso Factor F es de 0,0401691 siendo su factor crítico 4,41387342 por tal motivo se acoge a la hipótesis nula, ya que el factor F, es inferior al F crítico, del tal manera que mejoramos Lambda pero para el análisis de varianza no es significativo, este análisis como tal permite entender que al ingresar un gas de cierta forma mejora la mezcla aire combustible y enfría la cámara esto se ve reflejado en el decrecimiento de los NOx, ya que estos gases son generados por temperaturas promedio 760°C. A continuación, presentamos de forma esquemática el comportamiento de los NOx y Lambda, conforme a los datos obtenidos del Anexos 17-20.

Análisis de gases

En el caso del Factor Lambda de la prueba de ralenti en un rango de 700 a 1200 RPM a un régimen de ralenti 25 % de carga de motor analizamos que al adicionar hidrógeno como tal, este factor se aproxima a uno, como se puede observar que la línea de color naranja la cual se encuentra mucho más estable versus la línea de color azul como se puede apreciar en el grafico 6, esto da a interpretar, que el comportamiento de lambda al estar más estable y próximo a uno mejora en el descenso de la producción de NOx, permitiendo así entender que la mezcla es más estequiométrica esto es gracias al Hidrógeno para lo cual es necesario ver y apreciar la tabla siguiente.

Gráfico 6

Grafica de datos del Factor Lambda, de la prueba estática

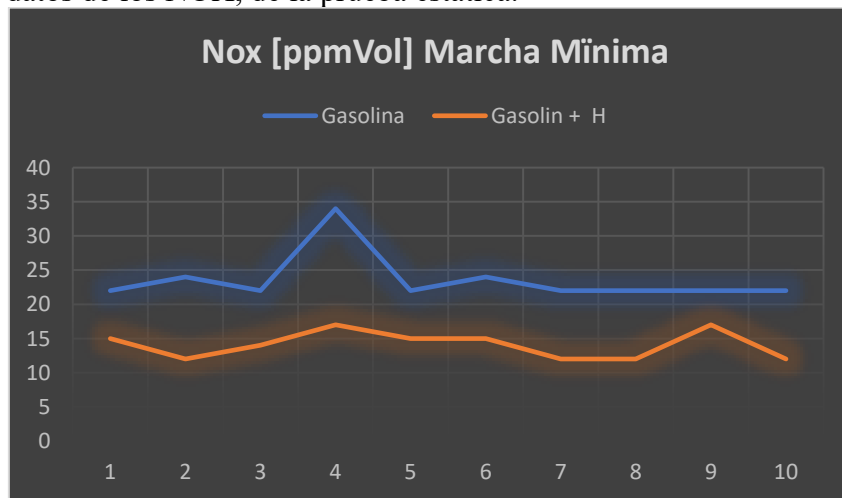


Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

En el caso de los NOx de la prueba en ralenti en un rango de 700 a 1200 RPM a un régimen de ralenti 25 % de carga de motor, se analizó que, al adicionar hidrógeno, desciende notablemente los NOx como se apreciar en el grafico 7, en la línea de color naranja versus la línea de color azul en la cual solo se utiliza gasolina local, este cambio es muy favorable para las nuevas tecnologías las cuales buscan alternativas de carácter científico para mejorar el motor de ciclo Otto, enfocados en la reducción de emisiones contaminantes y en especial en los NOx, los cuales por normativa no son medidos en vehículos de gasolina pero ante los organismos de control ambiental es un gas contaminante al cual se debe dar el mismo interés que los otros gases los cuales con medidos por normativa.

Gráfico 7

Grafica de datos de los NOX, de la prueba estática.

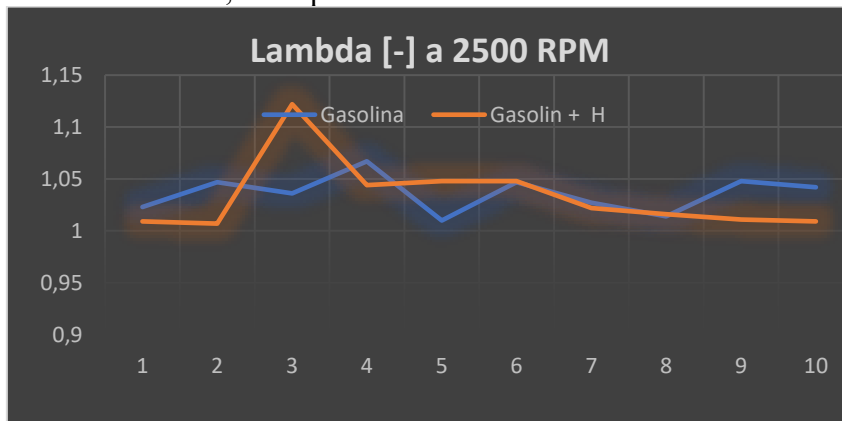


Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

En el caso de Lambda de la prueba en aceleración de 2400 a 2600 RPM, se obtuvo un pico de desfase al adicionar el Hidrógeno de forma indirecta el factor se alejó de uno pero rápidamente la gráfica se normaliza como se puede apreciar la línea de color naranja del gráfico 8, luego de eso pudo apreciarse una tendencia de aproximación, mientras más mediciones se realizan los datos se vuelven a repetir, es así que a partir de la medición número 6 lambda cada vez se aproxima más a uno, conforme se realizaban las mediciones permitiendo así interpretar que la adición de hidrógeno no solo mejora de forma momentánea, al contrario se debería realizar una investigación del comportamiento de este gas al ser adicionado a largo plazo.

Gráfico 8

Grafica de datos de Lambda, de la prueba dinámica.



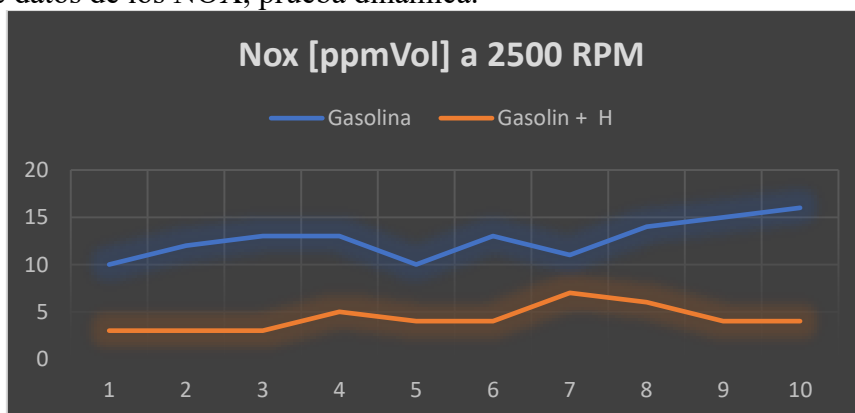
Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

Para finalizar se analiza el NOx de la prueba en aceleración de 2400 a 2600 RPM, en la cual la mejora es notable en la gráfica de los datos, tanto del análisis de varianza como de forma gráfica, es así, que en el gráfico 9 la línea de color naranja la cual representa la generación de NOx al adicionar hidrógeno al combustible local; en las condiciones antes en mención; permitiendo visualizar que dicha línea se encuentra muy alejada de la línea de color azul, la cual representa la generación de NOx al utilizar solo gasolina local, dando a entender que al

adicionar el hidrógeno en las cantidades mencionadas tenemos cambios favorables de la generación de NOx.

Gráfico 9

Grafica de datos de los NOX, prueba dinámica.



Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

Conclusiones

Al utilizar el método cuantitativo y siendo técnico en la investigación con la prueba a ralentí en un rango de 700 a 1200 RPM a un régimen de ralentí 25 % de carga de motor, se obtuvieron 10 datos de los cuales se obtuvieron los promedios, siendo este un dato extraído del análisis de varianza ANOVA, estos datos permiten establecer porcentajes de disminución con la finalidad de aclarar la reducción de los NOX, con relación a una mejora mínima del factor lambda. Como se mencionó la investigación parte de la variación de NOX y el factor LAMBDA de forma puntual, de tal manera la mejora con y sin adición de hidrógeno se lleva a cabo en esta investigación, en el régimen ralentí de 700 1200 RPM se determinó que la adición de hidrógeno de forma indirecta en la admisión permite reducir los NOx, como se lo establece los promedios en la Tabla 2, de los cuales se realizó los porcentajes de mejora en el grafico 4.

Tabla4

Porcentajes de variación prueba en ralentí de 700 a 1200 RPM

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	Porcentaje %
NOX ppmVol	23,6	14,1	-40,25423729
Lambda (-)	1,0743	1,0721	-0,204784511

Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

En el caso del factor Lambda la reducción que representa la aproximación a 1, es decir la relación aire-combustible (14,7 gramos de aire por cada gramo de gasolina) entre la masa de aire y la de un combustible (líquido o gaseoso), presentes dentro de un proceso de combustión, cuando esta relación es ideal en los porcentajes antes mencionados, teóricamente la generación de gases contaminantes es cero, pero en de forma práctica no sucede eso ya que el oxígeno no se lo tiene en condiciones ideales; ya que es una prueba práctica donde hay variables medioambientales que influyen; dicho esto el porcentaje de reducción de Lambda encontrado en

la investigación es de 0,2048%, esta mínima reducción de aproximación a uno mejora rotundamente la generación de NOx de tal manera que en la tabla 4, los NOx se reducen en un 40%, con una gran ventaja que el comportamiento de generación de este gas es más estable versus al utilizar solo combustible local, por tal motivo este cambio es muy favorable para las nuevas tecnologías, las cuales buscan alternativas de carácter científico para mejorar el motor de ciclo Otto, y esta investigación aporta una alternativa viable para reducir este gas NOx, el cual cabe mencionar que en nuestro país Ecuador, por normativa no está sujetos a medición, pero los organismos internacionales como es la Convención Marco de las Naciones Unidas, la Agencia Europea del Medio Ambiente, la Agencia de Protección Ambiental, la Junta de Recursos del Aire de California y la Organización de las Naciones Unidas, mediante la Organización Mundial de la Salud, controlan la generación del dióxido de carbono (CO2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO2, hidrocarburos (HC), el material particulado (PM)), y los óxidos de nitrógeno (NOx), [1], los cuales son el sujeto de análisis de la investigación.

En el caso de la prueba en aceleración de 2400 a 2600 RPM, de igual manera la relación Lambda se tiene una reducción mayor de 0,2412% versus la prueba estática de 700 a 1200 RPM, en la cual se redujo 0,2047%, si se analiza estos valores la diferencia de ellos es de 0,0365% esta mínima diferencia se puede apreciar cómo afecta directamente a la generación de NOx en la prueba dinámica como se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5

Porcentajes de variación prueba en aceleración de 2400 a 2600 RPM

Tipo de Gas	Gasolina	Gasolina +H	Porcentaje %
NOX ppmVol	12,7	4,3	-66,1417323
lambda (-)	1,0361	1,0336	-0,24128945

Fuente: Joel Perugachi. Daniel Espinoza

Los datos como se pueden apreciar en la Tabla 5, la reducción de NOx, en las condiciones especificadas teniendo en cuenta que la aproximación de Lambda es de 0,24 %, los NOx se reducen 66,14, lo cual permite interpretar que la adición de hidrógeno en la cantidad mencionada en el artículo es de carácter favorable para el medioambiente y de gran aporte científico.

Todos los datos de obtención, se sometió al análisis de varianza ANOVA, permitiendo así saber si dichos cambios son significativos o no, como en el caso del factor Lambda el cual se redujo 0,20% en la prueba em ralenti y 0,24% en la prueba en aceleración, según la herramienta estadística ANOVA Lambda no sufre un cambio significativo, por tal motivo se acoge a la hipótesis nula, con ello se quiere decir que ese pequeño cambio no afecte a mejorar la relación estequiométricas, ya que la teoría menciona que mientras más se aproxima al factor lambda a 1 la generación de gases contaminantes es menor, y ese mínimo cambio lo se puede observar reflejado en la generación de NOX, el cual se ve afectado de forma favorable y se rechaza la hipótesis nula, por tal motivos 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.

Los datos obtenidos de la investigación, respecto a los niveles de NOx, son apreciables en cuanto a su descenso, por consiguiente tenemos que, en marcha mínima (700 a 1200RPM) descienden un promedio de 40 %, y en aceleración (2400 a 2600 RPM) del 66%, este descenso de NOx, permite entender que la adición de hidrógeno en condiciones del máximo vacío del motor es menos eficiente que en condiciones de aceleración, esto despliega futuras investigaciones, para enfocarse en la adición de hidrógeno de una forma dinámica, utilizando una sonda para monitorear los NOx en el mismo vehículo, cabe mencionar que el descenso de este gas no quiere decir que las enfermedades de afección respiratoria desaparezcan al contrario, esta adición de hidrógeno permite mitigar los efectos prematuros de afecciones respiratorias, teniendo en cuenta que este gas permanece en la atmósfera a nivel de la superficie por largos periodos de tiempo, si reducimos sus niveles de generación por consiguiente mejoramos el porcentaje de muertes por calidad de aire, teniendo en cuenta que según la publicación de la OMS, (2019) “menciona que el 37 % de las muertes prematuras, tienen relación directa con la contaminación del aire, dentro de los contaminantes se encuentra los NOx”, es así que esta investigación es viable para reducir las muertes generadas a causa de este gas, ya que según la afirmación, de Veintimilla, P.F. (2019), “este gas esta asociado con una estimación de 10 000 muertes prematuras por PM 2.5 de NOx” y si se reduce los porcentajes de generación de NOx, por consiguiente si se baja la generación de PM de NOx también se reduce el número de muertes prematuras.

Toda la información recolectada se permite mencionar, que no existe una investigación en la cual se describa el porcentaje o número de muertes anuales que se ocasionan a causa de este gas de forma directa, ya que actualmente la OMS solo tiene porcentajes globales de contaminación del aire, en el cual está incluido los NOx, como gas contaminantes y en la investigación de Veintimilla, P.F. (2019), solo describe una estimación de 10 000 muertes prematuras, pero no es un dato exacto ya que la ONU siendo un de los entes reguladores en cuanto a la calidad del calidad no tiene una investigación respecto a lo antes en mención. Toda la investigación ha generado datos positivos, siendo estos sujetos de análisis y experimentación, enfocados a futuras investigaciones.

Hallazgos de la Investigación

Se ha considerado necesario y fundamental añadir un hallazgo de la investigación ya que esto toma otra cosmovisión del proceso de medición de NOx en motores combustión interna permitiendo así que esto sea un punto de carácter científico de investigación, diciéndolo de esta forma el hallazgo que encontramos en el proceso de medición de los NOx es el siguiente:

Una vez que empezamos a realizar las mediciones como se lo muestra en el Anexo 10, la primera medición tenía un tendencia de captar solo picos de NOx, es decir solo por intervalos alternativos la sonda captaba NOx, y luego teníamos NOx en 0, por consiguiente se tomó la decisión de realizar una perforación como se lo muestra en el Anexo 10 (paso 1) está perforación esta posterior al Catalizador, con la finalidad de verificar y reafirmar el acontecimiento suscitado, pero en dicha medición los NOx, se mantenían estables es decir la sonda captaba en todo momento los NOx, permitiendo realizar las pruebas, de tal manera que la medición de este gas se ve afectado por la estructura del escape, siendo este un punto de gran aporte científico, ya que la trayectoria del sistema de escape permite intercambiar la temperatura de los gases con la atmósfera dando como resultado en el caño de escape de la salida la reducción de los NOx.

Referencias

- Gerardo, L., Vela, S., Flores, O., José, C., Hernández, R., David, J., Vega, V., Eliseo, M., & Acevedo, C. (s/f). *Revisión de la Normativa Internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos urbanos*. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- Regulación Normas Y reglamentos – agencia nacional de ... - Gob. (no date). Available at: <https://www.ant.gob.ec/regulacion/regulacion-3/>.
- Benavides Mayorga, S.D. (2021) *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*, Repositorio Digital UIDE: Home. QUITO/UIDE/2020. Available at: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4509>.
- 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.
- 2022, 4 A. (no date) Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre: Nuevos datos de la OMS, OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. Available at: <https://www.paho.org/es/noticias/4-4-2022-miles-millones-personas-siguen-respirando-aire-insalubre-nuevos-datos-oms>.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico Plaza San Juan de la Cruz, 10 28071 Madrid (España) (2020) *Óxidos de Nitrógeno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidosis-nitrogeno.aspx>.
- Veintimilla, P.F. (2019) *Análisis de resultado de las emisiones de gases contaminantes y fuentes móviles. tesis*. Universidad Politécnica Salesiana con sede en Cuenca Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7647/1/UPS-CT004530.pdf>. p.23
- JE, Jonson; J Borken-Kleefeld; D. Simpson; Un Nyíri; M Posch; C Hola JE Jonson; J Borken-Kleefeld; D. Simpson; Un Nyíri; M Posch; C hola (2017) *Impact of excess nox emissions from diesel cars on air ... - iopscience, Impacto del exceso de {NOxemissions} de los automóviles diésel en la calidad del aire, la salud pública y*

la eutrofización en Europa. IOP Publishing Ltd. Environmental Research Letters, Volumen 12, Número 9. Available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8850>.

Hernández, E.J.A. et al. (2016) *The Max-DOAS network in Mexico City to measure atmospheric pollutants*, Sciencedirect *Atmósfera. atmospheric pollutants, Atmósfera*. Available at: <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.02.05>.

Zhe Zhao, Yan Huang, Xiumin Yu, Zezhou Guo, Ming Li, Tianqi Wang. (2022) "Effect of brown gas (HHO) addition on combustion and emission in gasoline engine with exhaust gas recirculation (EGR) and gasoline direct injection," *Journal of Cleaner Production*, Volumen 360,2022, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132078>. p. 2-4

C. Leishman, S. Mazzone, Y. Sun, L. Bekris, E.I. Papaioannou, K. Li, F.R. García-García, Manganese-based "Catalysts supported on carbon xerogels for the selective catalytic reduction of NOx using a hollow fibre-based reactor", *Catalysis Today*, 2023, ISSN 0920-5861, Available: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2023.01.026>. p. 4-6

Calatayud, J.J.de T. et al. (2017) Estudio Comparativo del Uso de Hidrógeno Frente a combustibles fósiles ..., *ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE HIDRÓGENO FRENTE A COMBUSTIBLES FÓSILES EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA EN BUQUES*. Departamento de CC de la Navegación – Área de Construcciones Navales – Universidad de La Coruña. Available at: https://www.udc.es/export/sites/udc/gem/_galeria_down/congresos/Copinaval_2011_103_-_USO_DE_HIDRxGENO_de_Troya_Calatayud_y_otros_.pdf_2063069294.pdf Pp.6-7.

"Manuales de Usuario y Reparación | Chevrolet", Chevrolet.com.ar, 2020. [Online]. Available: <https://www.chevrolet.com.ar/manuales-de-propietario>.

FORCE Technology, 2020. [Online]. Available: <https://hidrogenoaragon.org/entidades/force-technology/>.

Your Bibliography: Globaltech, E. (2020). *Analizador de Gases Brain Bee - Modelo AGS-688 - Globaltech Ecuador. Globaltech Ecuador*. Retrieved 19- marzo- 2023, from <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>.

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>. p. 2-4.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. (2022). Calidad del Aire Ambiente (exterior) y salud. World Health Organization. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Analizar la variación de NOx con la 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.

Objetivos Específicos

- Medir valores de NOx del motor otto mediante la normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349
- Observar la variación de gases NOx en las pruebas cíclicas con la adición de 0,5L / min de Hidrógeno mediante los reportes del analizador de gases aplicando la normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349
- Interpretar los datos obtenidos en las mediciones cíclicas de NOx con la adición de 0,5 L / min de hidrogeno aplicando herramientas estadísticas.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la variación de los NOx al adicionar el Hidrógeno en el proceso de combustión del motor otto?

¿Qué equipo se va a utilizar para la toma de datos en el análisis de los NOx respecto a la adición de hidrógeno?

¿Cómo se va a interpretar los datos del comportamiento de los NOx, al adicionar el hidrógeno a la combustión del motor otto?

Fundamentación del problema (Importancia y Justificación)

Con la finalidad de contribuir, al estudio de los gases contaminantes generados por vehículos con motores de ciclo otto, se ha enmarcado en analizar la generación de NOx, y el comportamiento al adicionar hidrógeno de forma indirecta en el colector de admisión utilizando gasolina comercializada en Ecuador, este es un estudio de innovación tecnológica el análisis de los NOx considerando que la adición de Hidrógeno a un motor de gasolina, fue sustentada como medida de reducción de los hidrocarburos y los monóxidos de carbono, pero es necesario analizar que sucede con los NOx, ya que este gas no está considerado en nuestra normativa, pero es fundamental estudiarlo ya que la conciencia humana respecto al impacto ambiental por los gases contaminantes generados por los motores de combustión es cada vez un foco de investigación.

Posibles Hipótesis

Al tener un combustible en estado de gas (Hidrógeno) y con mayor poder calórico vs el combustible local, el hidrógeno mejora la relación estequiométrica mejorando así la generación de NOx, y por consiguiente de gases contaminantes.

Anexo 1

Mayorga, B., & Daniel, S. (2020). 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. QUITO/UIDE/2020. págs. 6-24, 2020. Disponible: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4509> [Consultado el 02 de enero, 2023)Págs.6-24

Anexo 2

Haodan Cheng a et al. (2022). “Application progress of small-pore zeolites in purifying nox from Motor Vehicle exhaust, Chemical Engineering Journal. Elsevier”. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137795> (Consultado:08 de Jun, 2023)Págs.2-6

Anexo 3

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 de Jun, 2023)Págs.30-50

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 4

Gelu Varghese a et al. (2022) Effects of biodiesel degree of unsaturation, chain length and physical properties on tailpipe oxides of nitrogen (NOx), Journal of the Energy Institute. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2022.10.001> (Consultado 13 de febrero, 2023).....Págs. 7-10

Anexo 5

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: 20 de marzo de 2023].....Págs. 17-19

Anexo 6

Antonio García et al. (2022) "Impact of low carbon fuels (LCF) on the fuel efficiency and NOx emissions of a light-duty series hybrid commercial delivery vehicle, *Fuel*. Elsevier." Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124035> [Consultado: 22 de marzo 2023].....Págs. 2-4

Anexo 7

Herrera Barreiro, D.S. and García Estrada, N.R. (2014) Análisis de resultados de un sistema de inyección agua/metanol, Para reducir Emisiones contaminantes, Repositorio Digital UIDE: Home. QUITO / UIDE / 2014. Available at: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/119> (Consultado: 19 de abril, 2023). Págs.....8-10

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Metodología Aplicada

Para la presente investigación se utilizará:

Método Cuantitativo. Es aquel que "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)

- Descripción del problema
- Preparación del proyecto de investigación
- Procesos previos al lanzamiento del estudio
- Realización del trabajo de campo

➤ Procesos de depuración, codificación y tabulación

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)

Para lo cual se llevará a cabo un método experimental, el cual permitirá recolectar datos mediante un asonda de NOx, los mismo que serán sometidos a un análisis estadístico, dicho análisis se lo realizara con el método conocido como el ANOVA, el cual permite saber si tal hipótesis plantada es nula o alternativa, es decir: Un análisis de varianza (ANOVA) es la que permite probar una hipótesis de los datos de la pruebas de NOx las cuales serán 10 en cada régimen del motor (régimen de relanti y a 2500 rpm) sin hidrógeno y con hidrógeno, de esta forma se puede probar la hipótesis de que las medias de dos o más datos son iguales acogiéndose a la hipótesis nula pero si estos datos sufren cambios con la adición de hidrógeno y los NOx cambian se plantea que es una hipótesis alternativa ya que se establece que al menos un dato es diferente.

Análisis de Varianza ANOVA

La bases para un sustento de hipótesis planteadas de forma experimental, la cual permite extraer datos y analizarlos es la estadística, de tal manera que es el momento donde interviene un método cuantitativo, para lo cual utilizamos el análisis de varianza de un solo factor 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)

Este conjunto de datos permite, analizar el comportamiento de los NOx, y saber si, existe cambios o diferencias significativas de la hipótesis planteada, pero desde un punto estadístico.

Para ampliar los conocimientos de cómo aplicar el análisis de varianza de una forma muy practica y sencilla es fundamental que se direcciones al Link de hipervínculo a continuación con la finalidad de entendimiento practico de que es un Análisis de Varianza Anova y como se puede aplicar:<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33860/secme16960.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Metodología utilizada en la Investigación

Para obtener los datos se utilizó un método experimental, para lo cual es necesario seguir el paso a paso descrito en el Anexo 9.


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 8

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	
	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	
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	
MGT-300 EVO Tacómetro de RPM y temperatura	Pantalla:	LCD de 3,5 «320 × 240, 700 nits (cd / m²)	
	Teclado:	Soft Touch teclado	
	Batería:	Lion, recargable	
	Interfaces:	USB 2.0 y Bluetooth	
	Dimensiones:	200x100x30 mm	

Fuente: Joel Perugachi.² Daniel Espinoza

Anexo 9

En este anexo se detalla el paso a paso para proceder a tomar los datos mediante el equipo de analizador de gases AGS 688, al igual que la conexión del equipo MGT_300 EVO, para lo cual a continuación se detalla paso a paso el procedimiento a seguir.

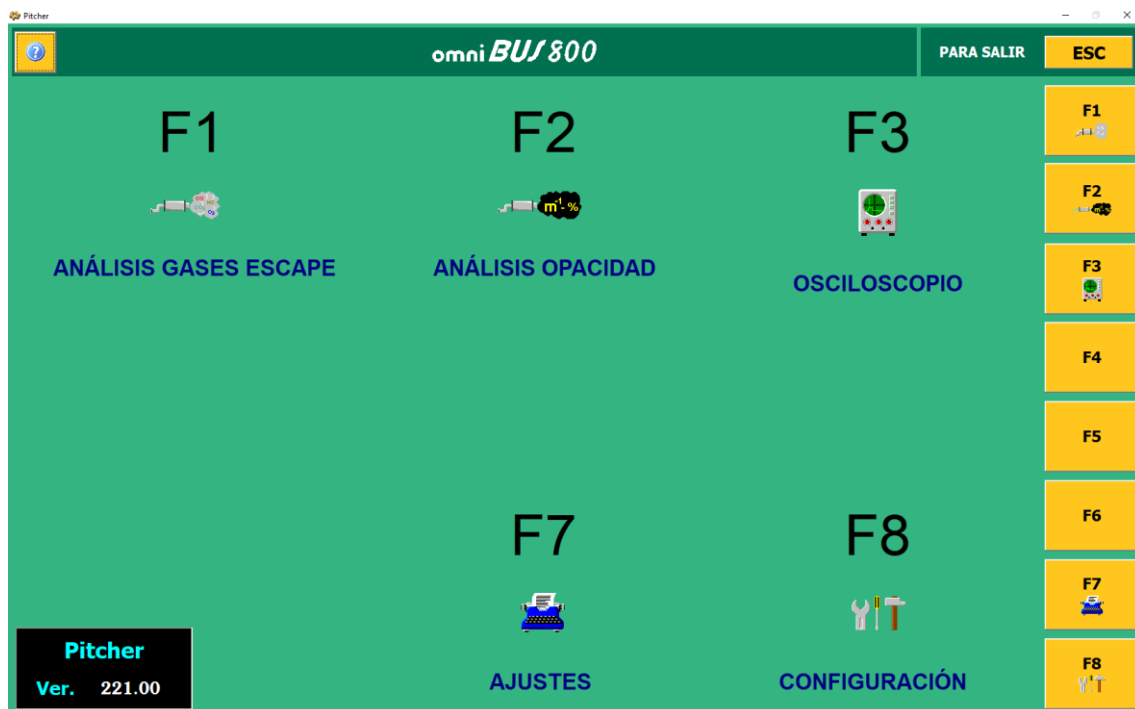
Paso 1:

Encendemos el equipo, manteniendo presionado por 5 segundos el botón de color rojo de igual forma lo realizamos con el CPU, incorporado para proyectar mediante la interfaz en el monitor y nos va a aparecer la pantalla de color verde como se muestra en la imagen



Paso 2:

Generamos un Clic y se va a desplegar la pantalla con las siguientes opciones, como es el caso de análisis de gases, digitamos F1.



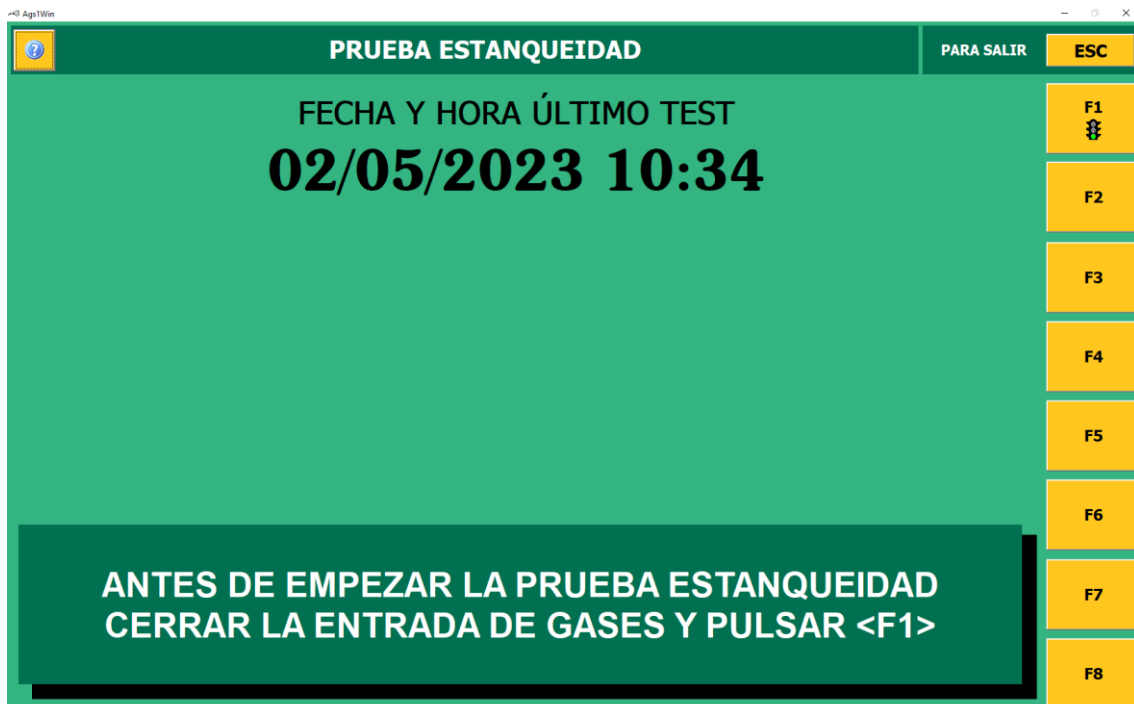
Paso 3

Luego se despliega la siguiente pantalla, en la cual el equipo empieza a calentar en un promedio de 15 min a 20 min, para lo cual no se debe realizar otra actividad en este tiempo establecido.



Paso 4:

Una vez que se calentó el equipo, se despliega la siguiente pantalla en la cual nos da una indicación ANTES DE EMPEZAR LA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD CERRAR LA ENTRADA DE GAS.



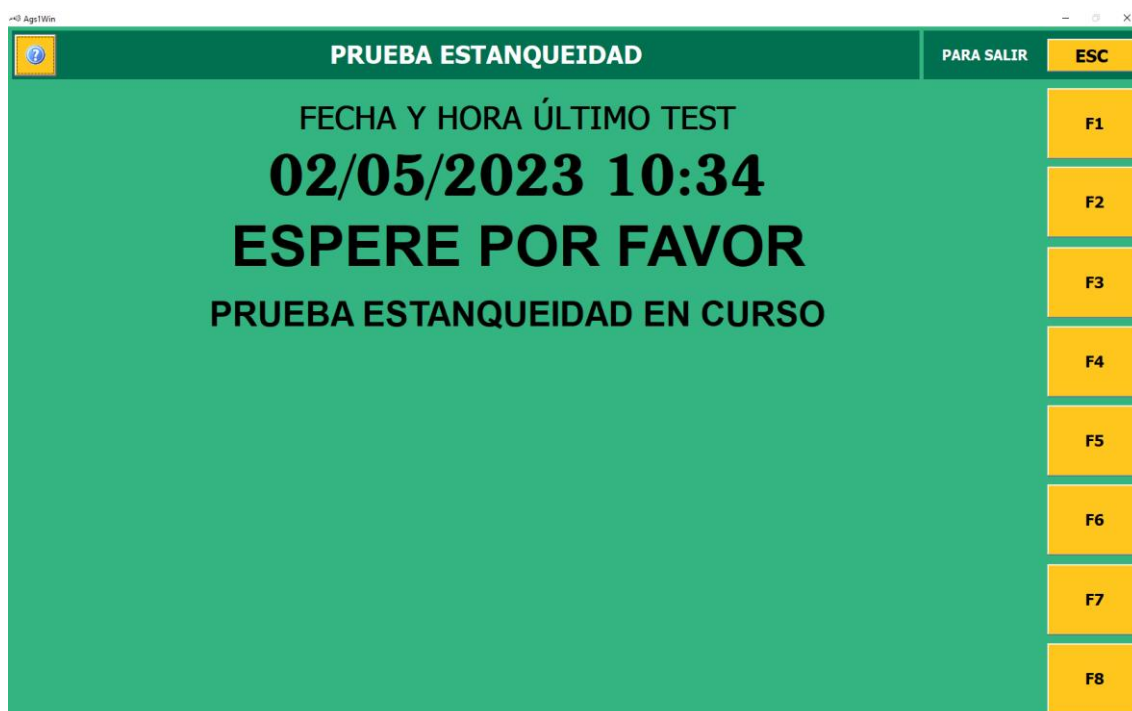
Paso 5

Introducimos la sonda en su alojamiento, como se muestra en el gráfico.



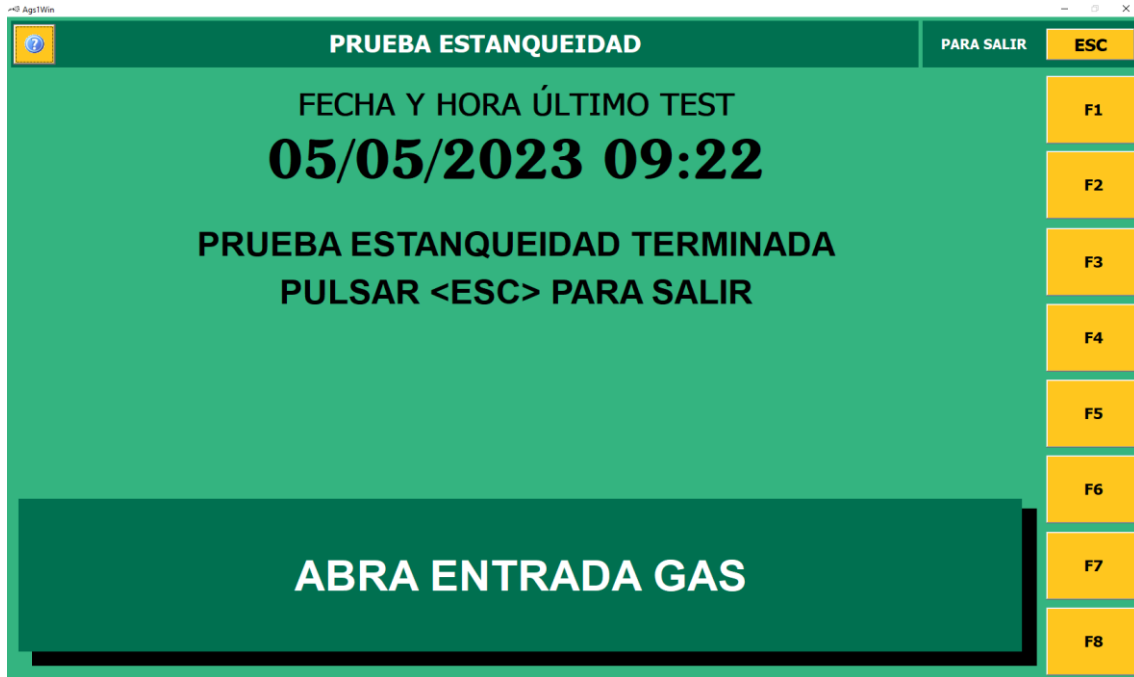
Paso 6

Ya colocada la sonda digitamos F1, y se despliega la siguiente pantalla, para lo cual en este paso no mueva la sonda o peor aún la desconecte, el equipo está verificando la estanquidad del sistema, si no está hermético, el sistema no permite saltarse este paso lo cual garantiza una lectura correcta de datos.



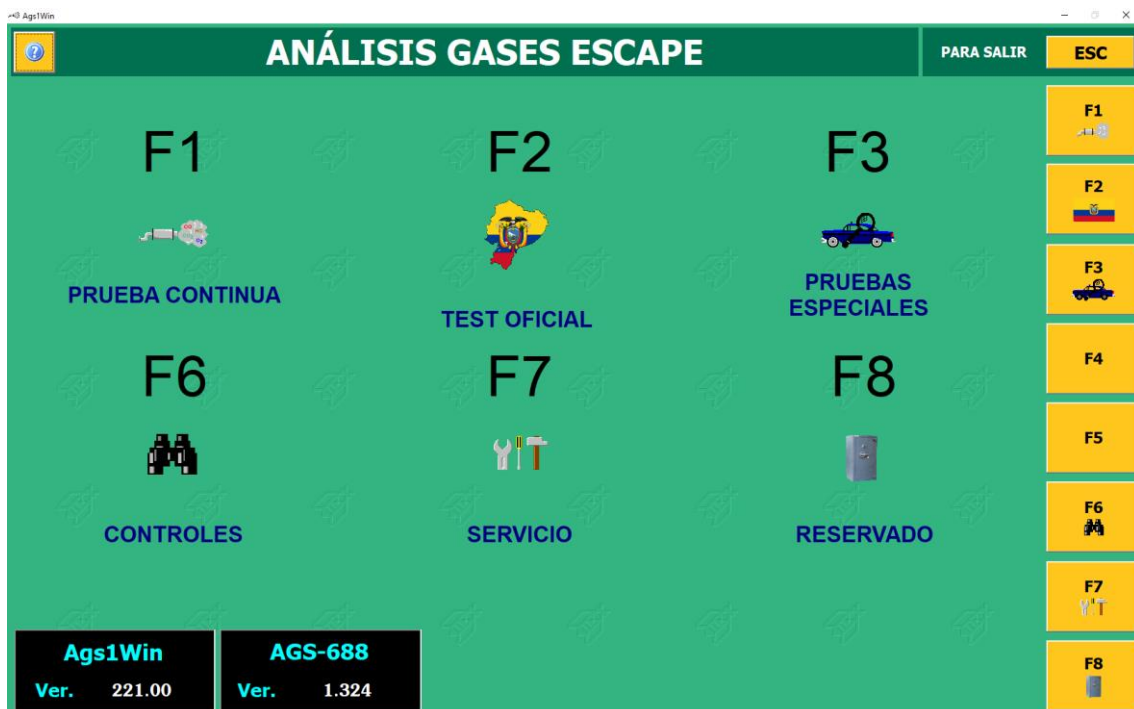
Paso 7

Una vez que termino la prueba de estanquidad automáticamente se despliega la siguiente pantalla, en la cual nos menciona que la prueba fue un éxito, y si no fuese el caso toca repetir desde el paso número 4.



Paso 8

Luego abrimos la sonda y presionamos ESC, y se nos va a desplegar la siguiente pantalla, en la cual digitamos F2.



Paso 9

Al digitar F2 del paso 8, nos va a parecer una pantalla de los datos, para ingresar esto lo realizar el equipo para un futuro poder guardar los datos captados.

TEST OFICIAL - DATOS DE VEHICULO		PARA SALIR	ESC
PLACA	:	[Red Box]	F1
MARCA	:	[Empty Field]	F2
MODELO	:	[Empty Field]	F3
No. CHASIS	:	[Empty Field]	F4
ODÓMETRO	:	[Empty Field]	F5
PRIMER COMBUSTIBLE	:	[Empty Field]	F6
SEGUNDO COMBUSTIBLE	:	[Empty Field]	F7
No. TUBOS DE ESCAPE	:	1	F8
No. TIEMPOS	:	4	[Empty Field]
No. CILINDROS	:	4	[Empty Field]
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	:	[Red Box]	[Empty Field]

Paso 10

En esta etapa llenamos los datos, a modelo de enseñanza se presenta la siguiente imagen, al terminar presionamos F2.

TEST OFICIAL - DATOS DE VEHICULO		PARA SALIR	ESC
PLACA	:	PBK-6284	F1
MARCA	:	HYUNDAI	F2
MODELO	:	TUCSON	F3
No. CHASIS	:	2.0	F4
ODÓMETRO	:	127466	F5
PRIMER COMBUSTIBLE	:	GASOLINA	F6
SEGUNDO COMBUSTIBLE	:	NO PRESENTE	F7
No. TUBOS DE ESCAPE	:	1	F8
No. TIEMPOS	:	4	[Empty Field]
No. CILINDROS	:	4	[Empty Field]
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	:	2010	[Empty Field]

Paso 11

Terminado los datos, se nos despliega la siguiente pantalla, en la cual nos muestra los límites oficiales de Quito para el análisis de gases, como en nuestro caso vamos a analizar los NOx, este gas no está normalizado su medición por consiguiente nos permite visualizar, pero no imprimir el reporte, para lo presionamos F2.

TEST OFICIAL - LIMITES DE PRUEBA PARA SALIR ESC

LIMITES OFICIAL QUITO

TEMPERATURA MOTOR 80

RÉGIMEN RALENTI

CO max 1.0 [%Vol]

HC max 200 [ppmVol]

O2 max 5.0 [%Vol]

RPM 500 min 1200 max

RÉGIMEN RALENTI ACELERADO

CO max 1.0 [%Vol]

HC max 200 [ppmVol]

O2 max 5.0 [%Vol]

RPM 2400 min 2600 max

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Paso 12

Al desplegarse esta pantalla nos muestra una indicación la cual nos dice AUTO CERO, esto nos da a entender que la maquina como tal hace un auto cero antes de empezar a realizar las pruebas, para lo cual es necesario que la sonda no este expuesta a ningún gas.

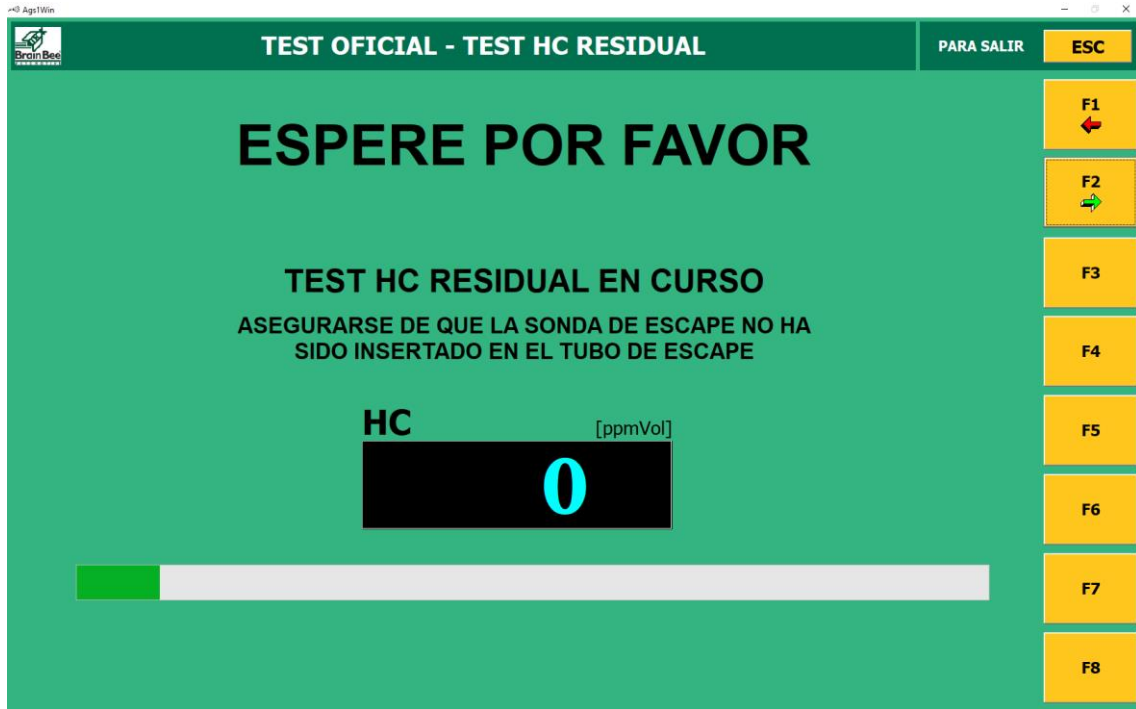
TEST OFICIAL PARA SALIR ESC

AUTOCERO

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

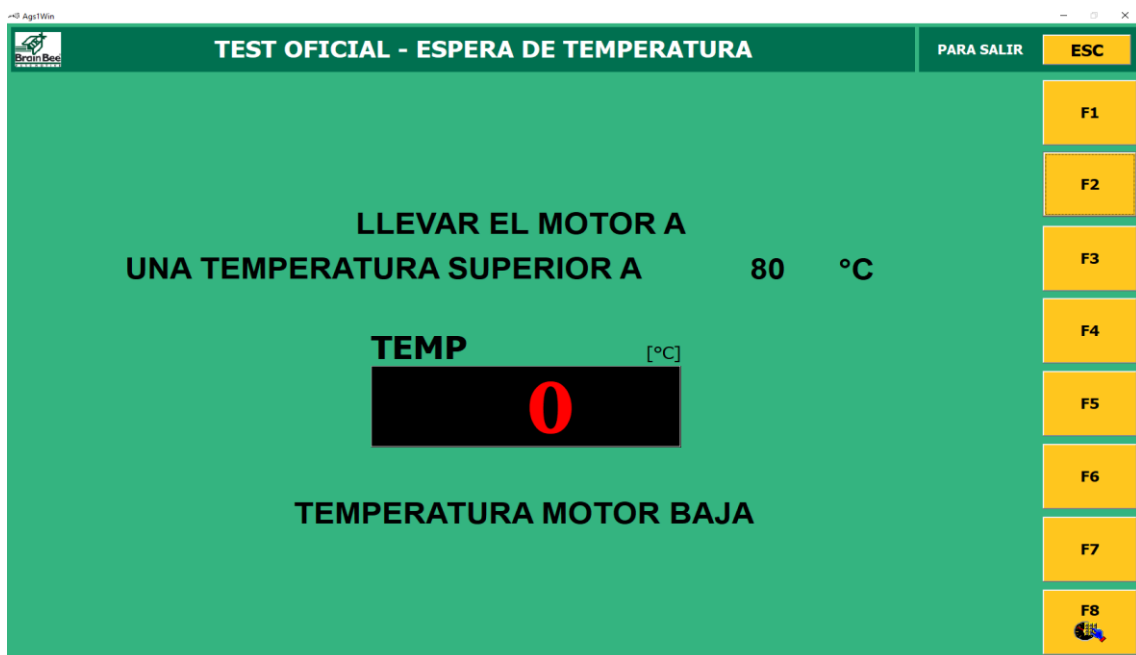
Paso 13

Una vez que termina el Auto Cero Automáticamente, se despliega la siguiente pantalla en la cual nos indica que, si existiera hidrocarburos HC, en la sonda o su conducto, si fuese el caso esta prueba se repite automáticamente.



Paso 14

Una vez que termina la prueba de HC, se despliega la pantalla de la temperatura de motor para lo cual es necesario ver el proceso de conexión del equipo MGT 300



Paso 14

En este paso esta la conexión del equipo MGT 300, para lo cual lo primero es encender el equipo presionando el botón rojo y colocarlo en un lugar seguro, como se muestra a continuación.



Paso 15

Luego colocamos el sensor de RPM en una parte metálica del motor, el cual nos permite censar las RPM del motor, cabe indicar que dicho sensor tiene un imán incluido para su correcta adherencia al momento de censar.



Paso 16

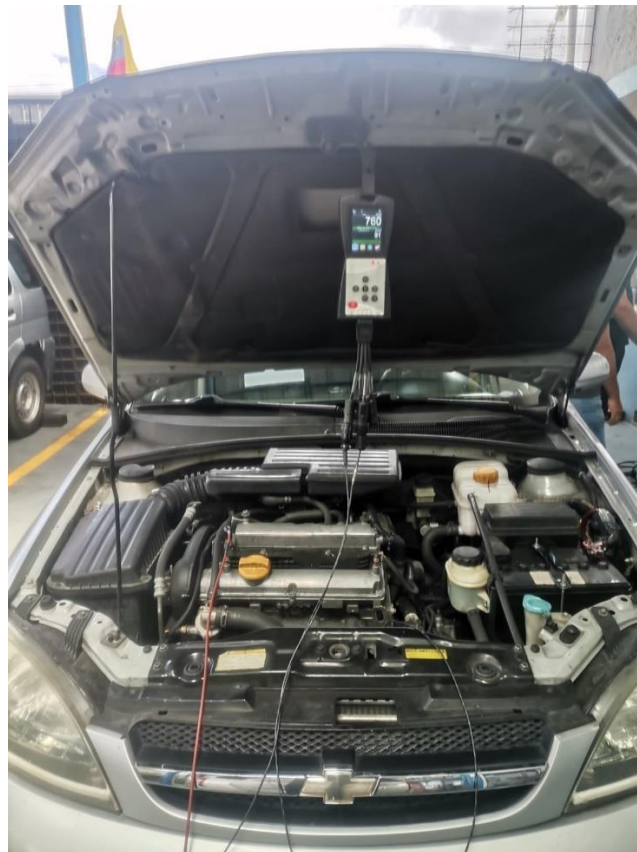
Luego colocamos el sensor de temperatura de motor, primero sacamos la bayoneta de nivel de aceite de motor y con el sensor tiene un botón plástico para extender o acortar el largo del sensor, para lo cual es necesario dejar al mismo tamaño que la bayoneta para que la punta del sensor llegue a topar

el aceite de motor, luego colocamos en el orificio donde estaba la bayoneta de nivel de aceite.



Paso 17

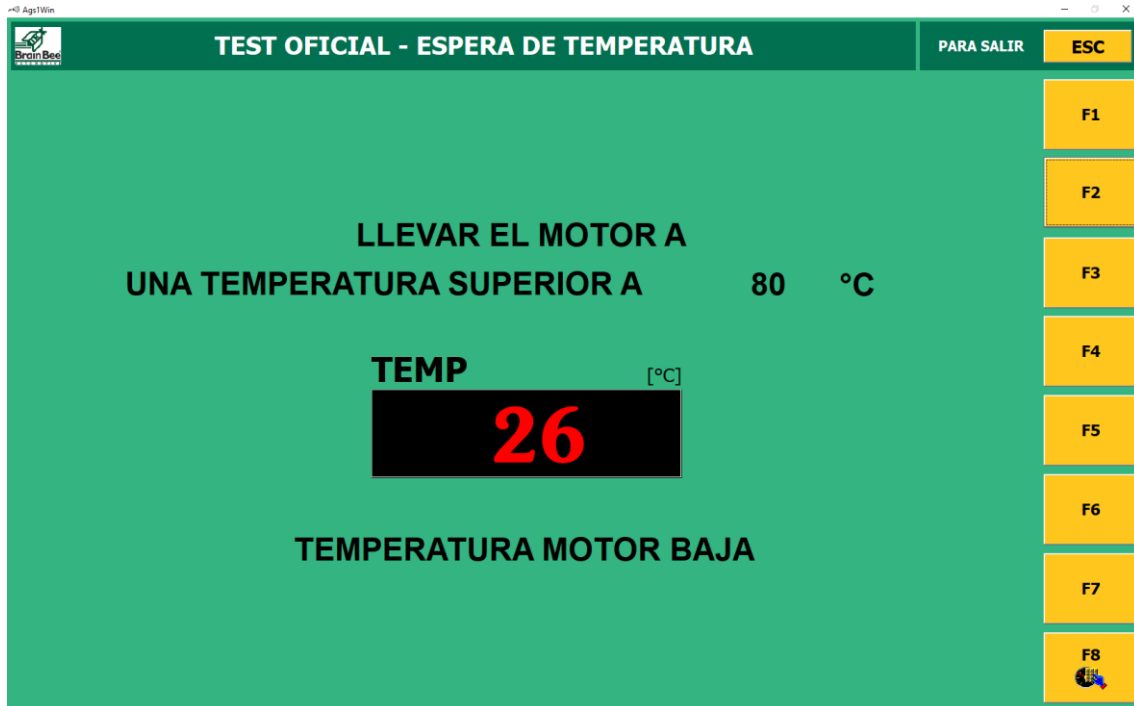
Una vez que el equipo está instalado nos debe quedar de la siguiente forma, tener en cuenta que las lecturas que se aprecian en especial las RPM, del motor sean correctas.



Una vez que terminamos con este paso, procedemos a ver las mismas lecturas del equipo MGT 300 en la pantalla.

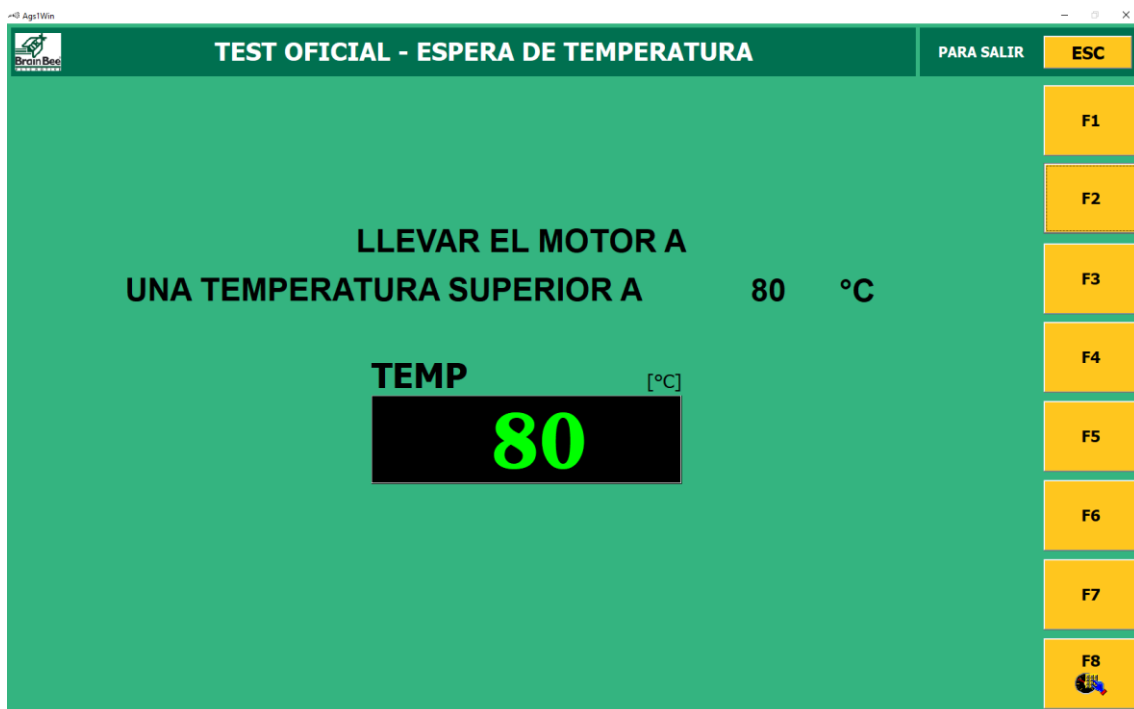
Paso 18

Una vez que terminamos con este paso, procedemos a ver las mismas lecturas del equipo MGT 300 en la pantalla se tiene que esperar hasta que se el motor alcance los 80 ° Celsius, y los números se pongan en verde.



Paso 19

Una vez que alcance la temperatura requería se muestra la pantalla de la siguiente forma.



Paso 20

Luego aparece la pantalla donde nos muestra todos los gases incluido las RPM, temperatura y el tiempo de medición que es 30 segundos en las dos pruebas.



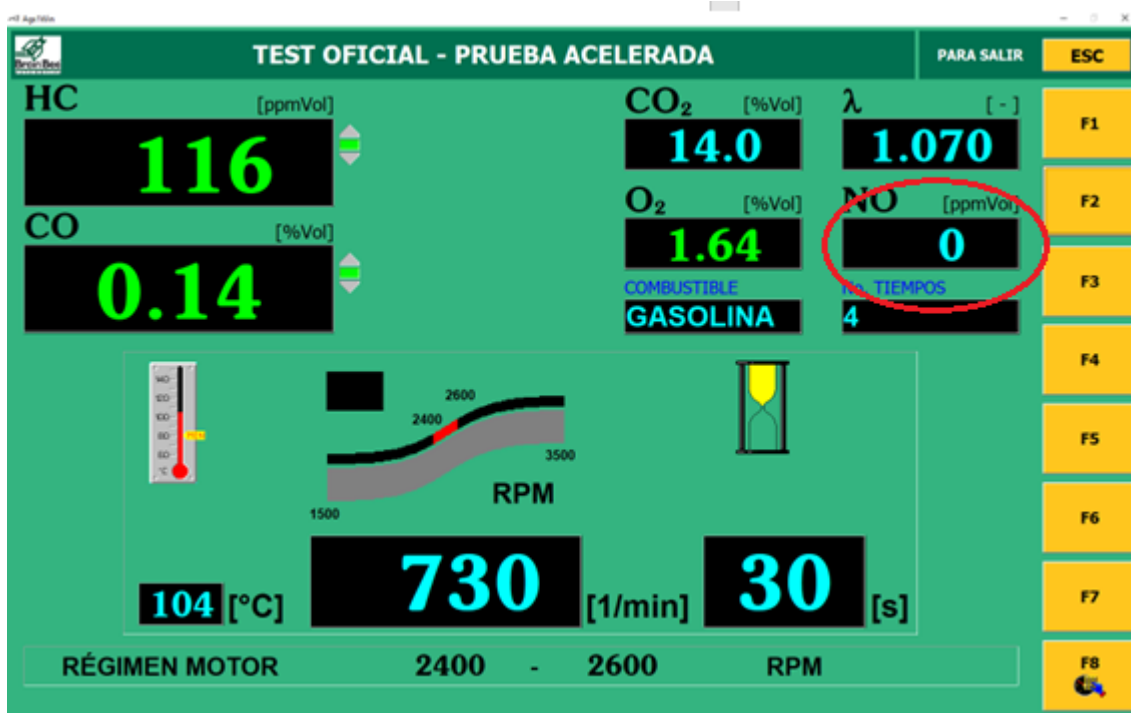
Paso 21

En este paso procedemos a insertar la sonda en el tubo de escape como se muestra en la siguiente imagen, asegurándonos que la sonda se quede bien sujeta evitando que se salga.



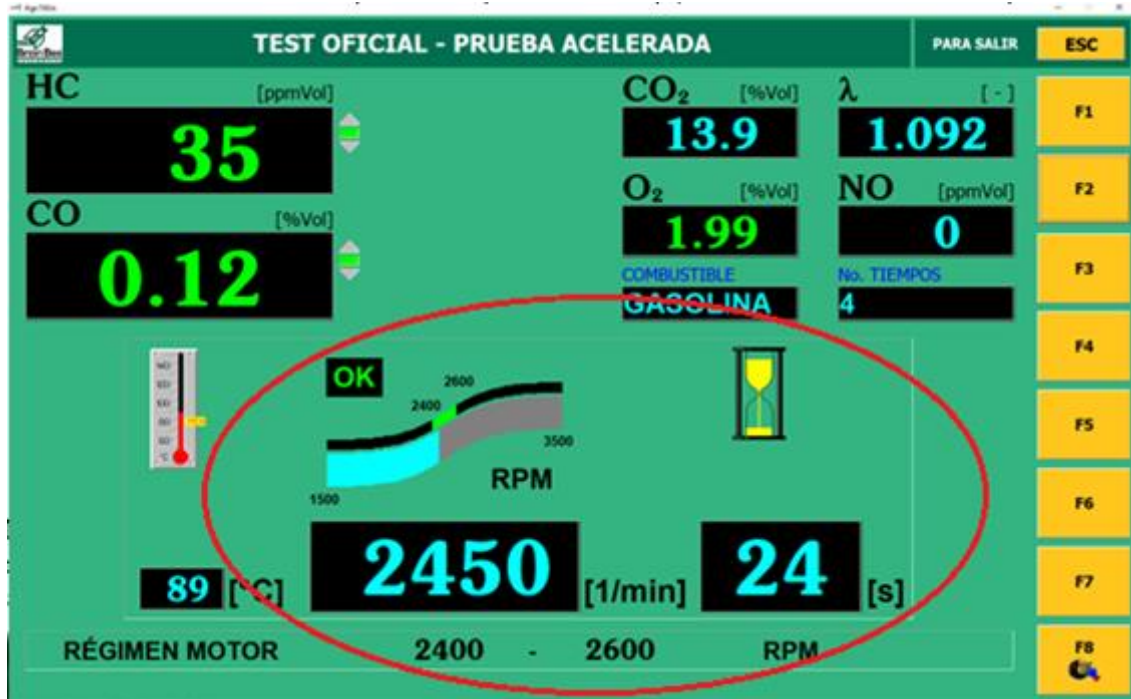
Paso 22

Una vez insertada la sonda procedemos a visualizar los datos en la pantalla



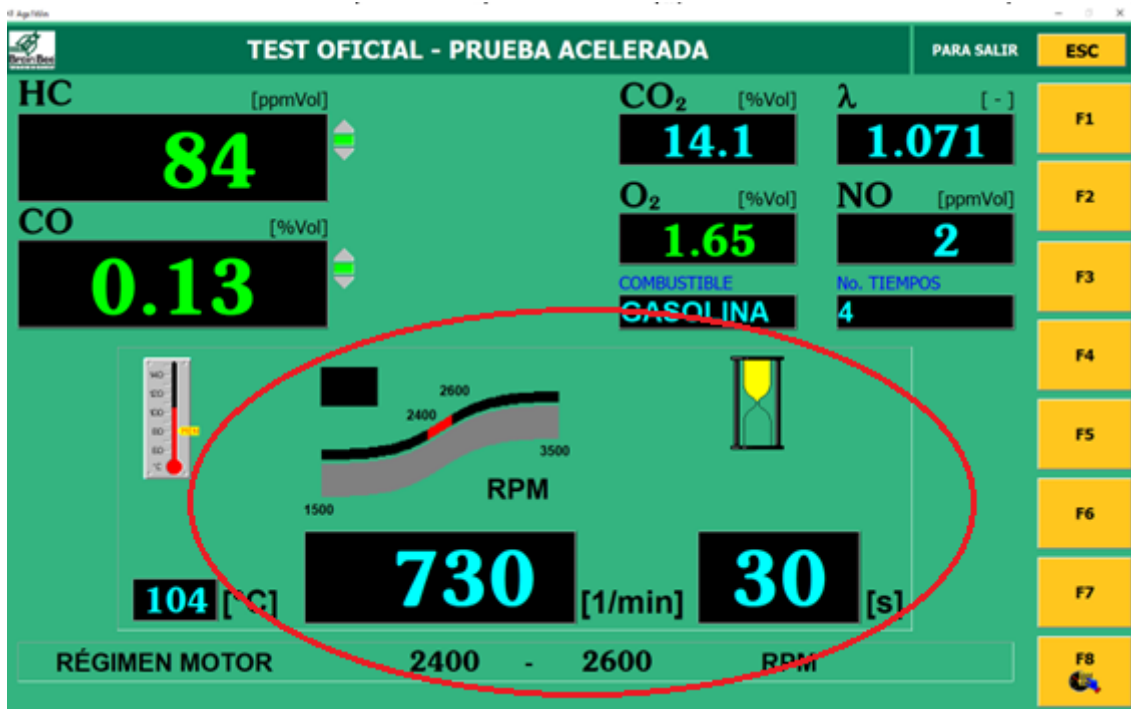
Paso 23

Para el proceso de medición es necesario realizar dos cosas la primera llevar a 2500 RPM por un lapso de 30 segundos como nos indica en la pantalla



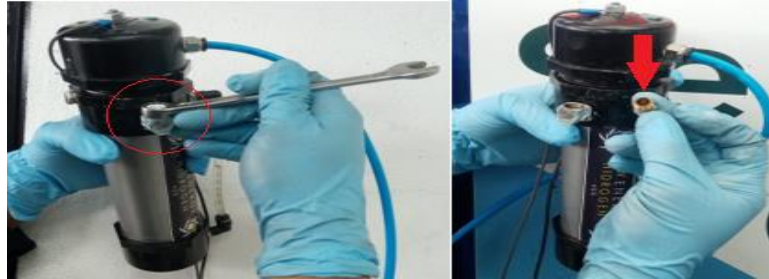
Paso 24

Una vez que el tiempo termino empieza una cuenta regresiva de 30 segundos en marcha mínima para que la maquina realice la otra prueba.



Paso 24

En el caso de la toma de datos es necesario empezar con conectando la máquina de hidrógeno, cabe mencionar que el equipo H5 lo único que necesita es añadir agua para lo cual se necesita quitar un tapón con una llave 12#.



Paso 25

Una vez retirado el tapón añadimos agua hasta llegar al nivel como se muestra en la imagen, luego de ello cerramos el tapón no exceder en el ajuste.



Paso 25

Para la instalación del equipo tenemos dos conectores el primero es el positivo el cual va en la parte superior del equipo y el negativo en el lateral de este.



Paso 26:

Luego de ello conectamos la manguera azul para lo cual solo necesitamos aplastar un conector plástico y luego ingresamos la manguera en su alojamiento, luego de ello retiramos un tapón del múltiple de admisión para conectar la manguera.



Paso 27

Se procede a conectar el equipo positivo y negativo, como esta en la ilustración y colocamos el equipo en un lugar seguro.



Anexo 10

Hallazgos de la investigación

Dentro de la toma de datos mediante la sonda tuvimos un acontecimiento, en cuanto a las medidas de NO_x, al introducir la sonda no se captó una señal estable de NO_x es decir sus valores subían y bajaban de forma muy rápida y no se podía captar la señal como tal, por este motivo se tuvo que realizar un orificio posterior al catalizador para mejorar la captación de NO_x.



Paso 1

Primero se procede a realizar el orificio, de 12mm de diámetro y se suelda una turca M12x 125 para poder cerrar y abrir, el orificio.



Paso 2

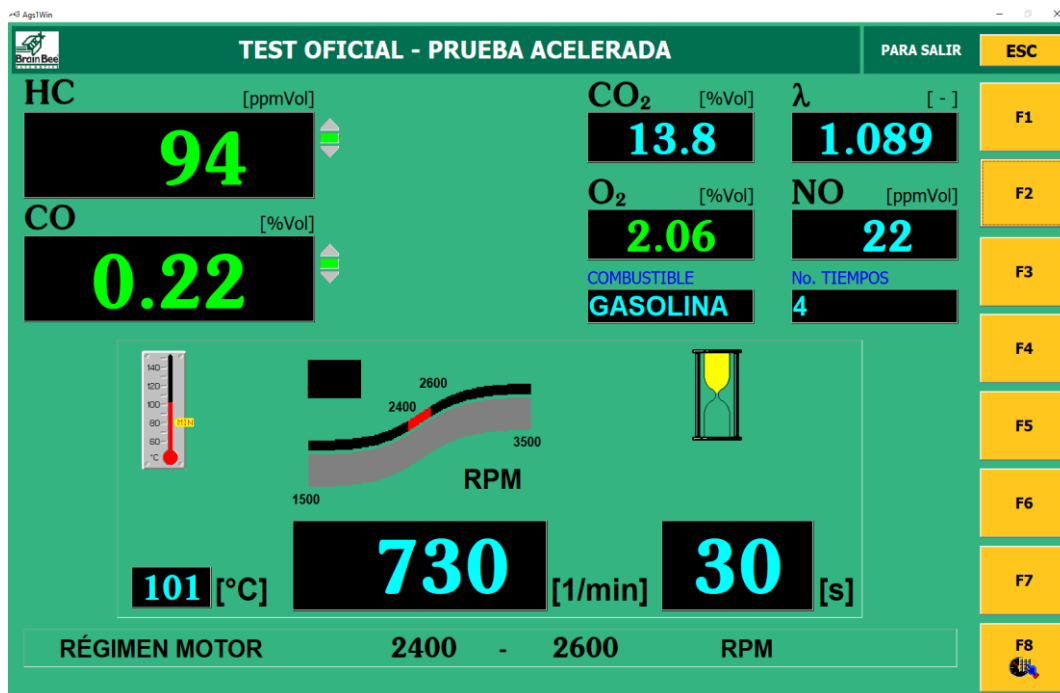
Este paso es el que se sustituye al paso 23 del anexo 9, es decir la sonda colocamos en este el orificio para la lectura de datos, como se muestra en el grafico presentado a continuación.



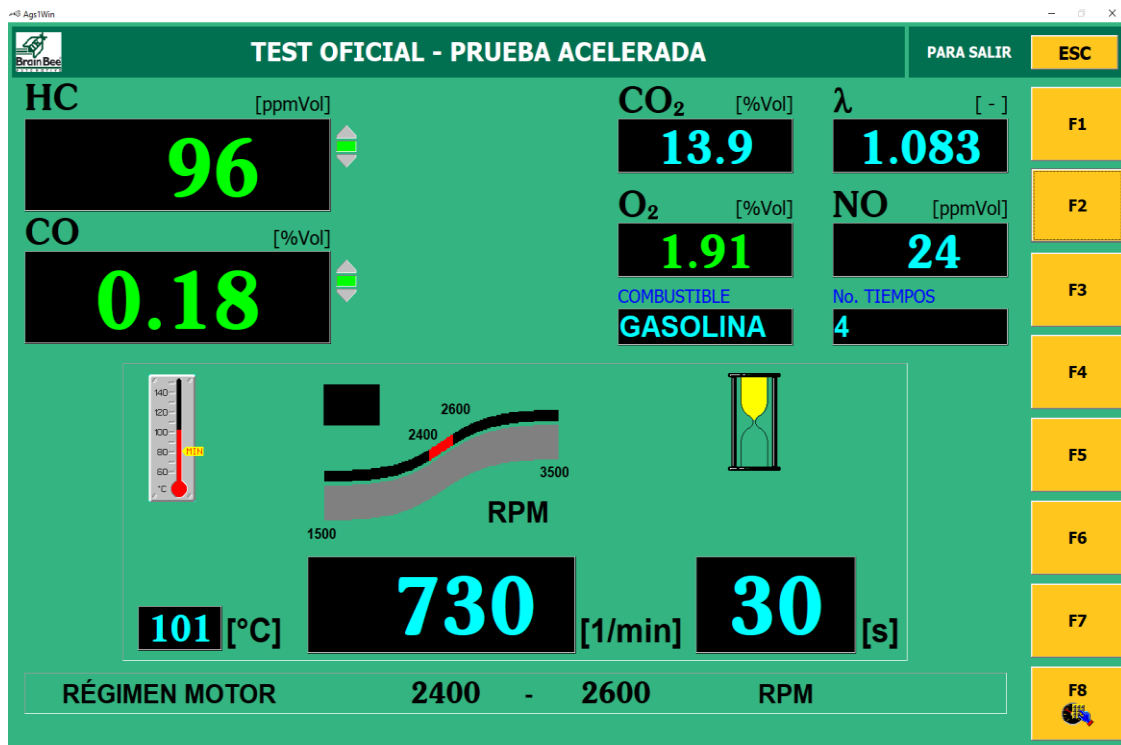
Anexo 11

Datos de la prueba de marcha mínima toma de datos sin la adición de Hidrógeno

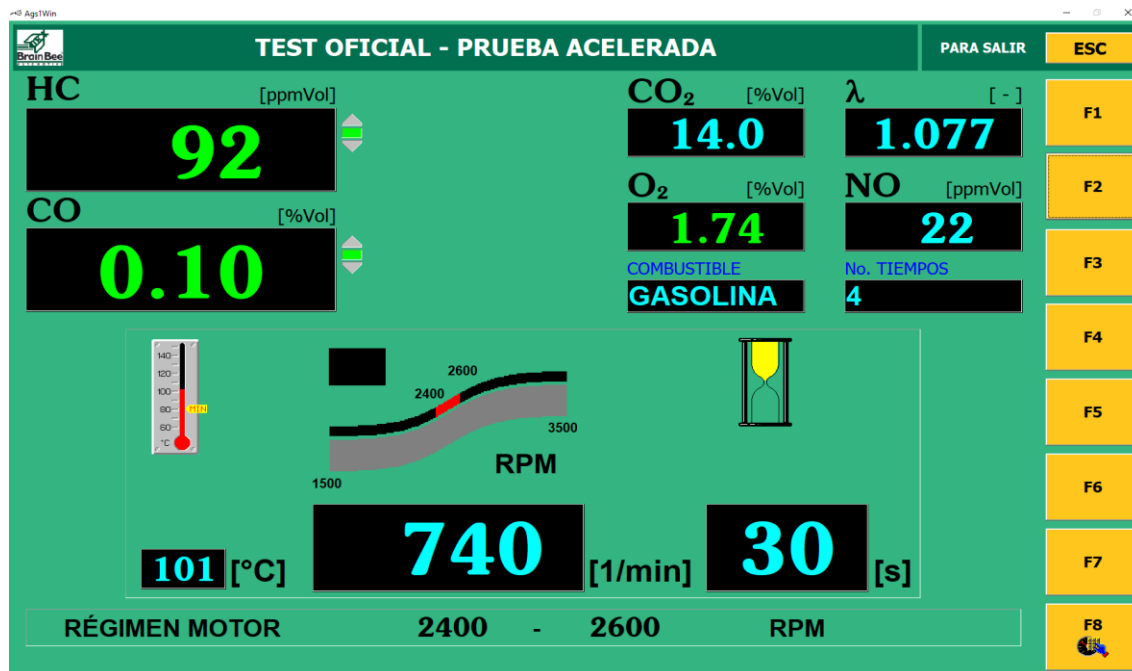
Prueba 1



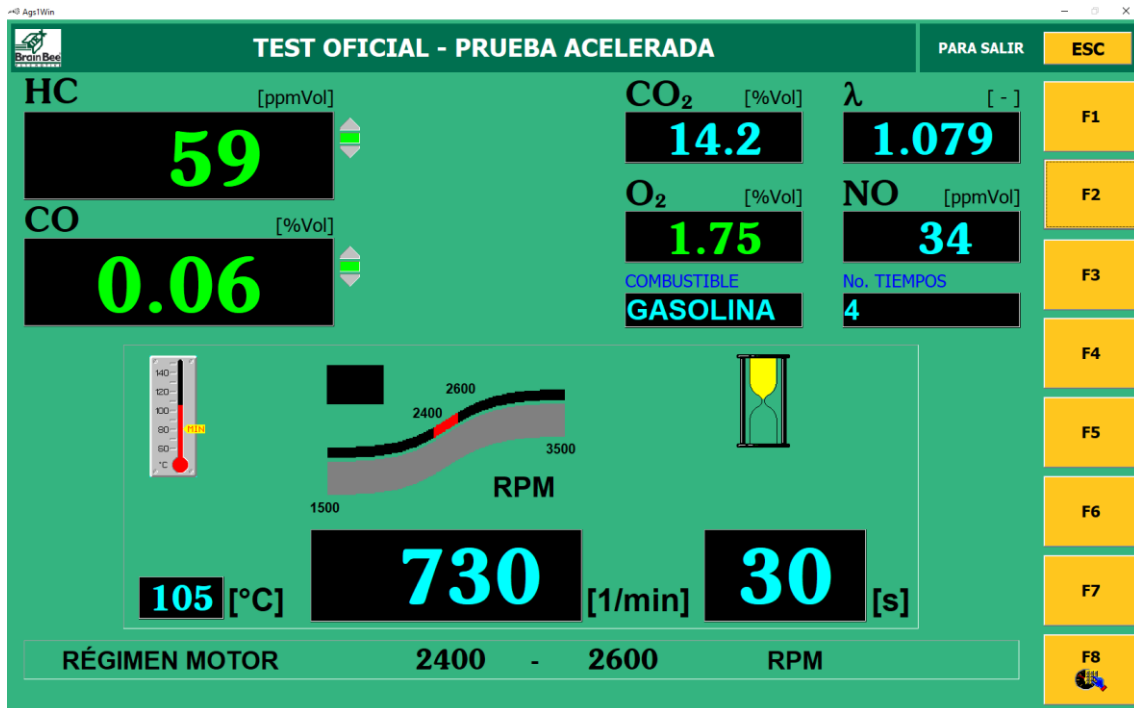
Prueba 2



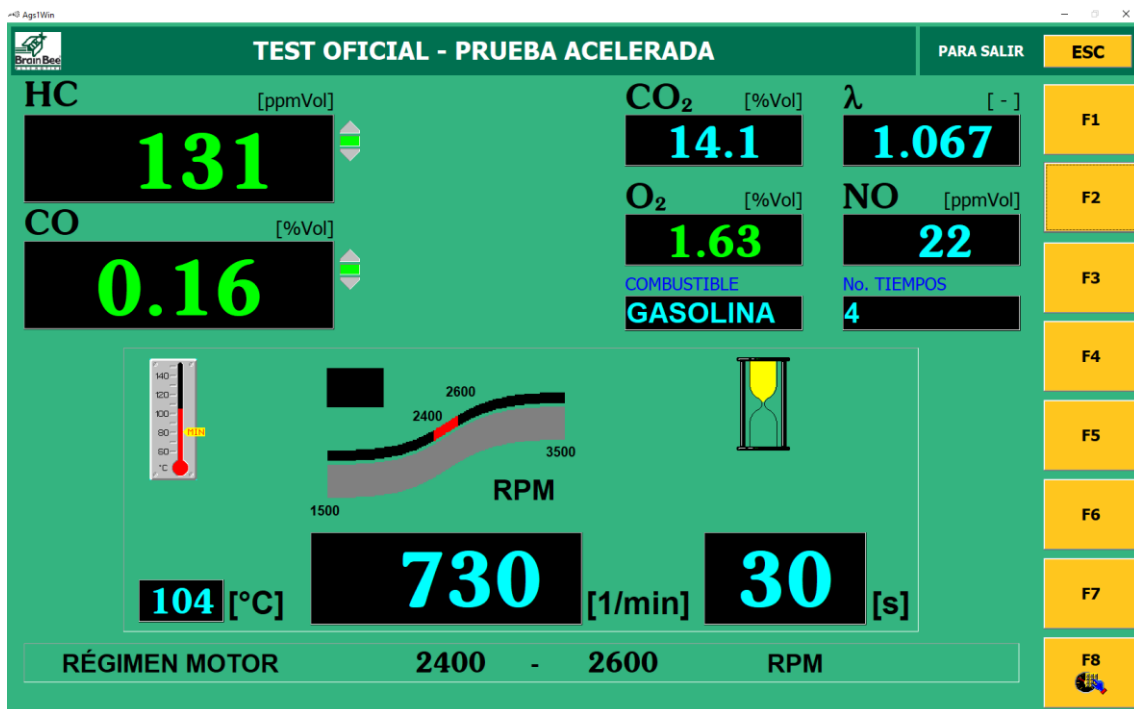
Prueba 3



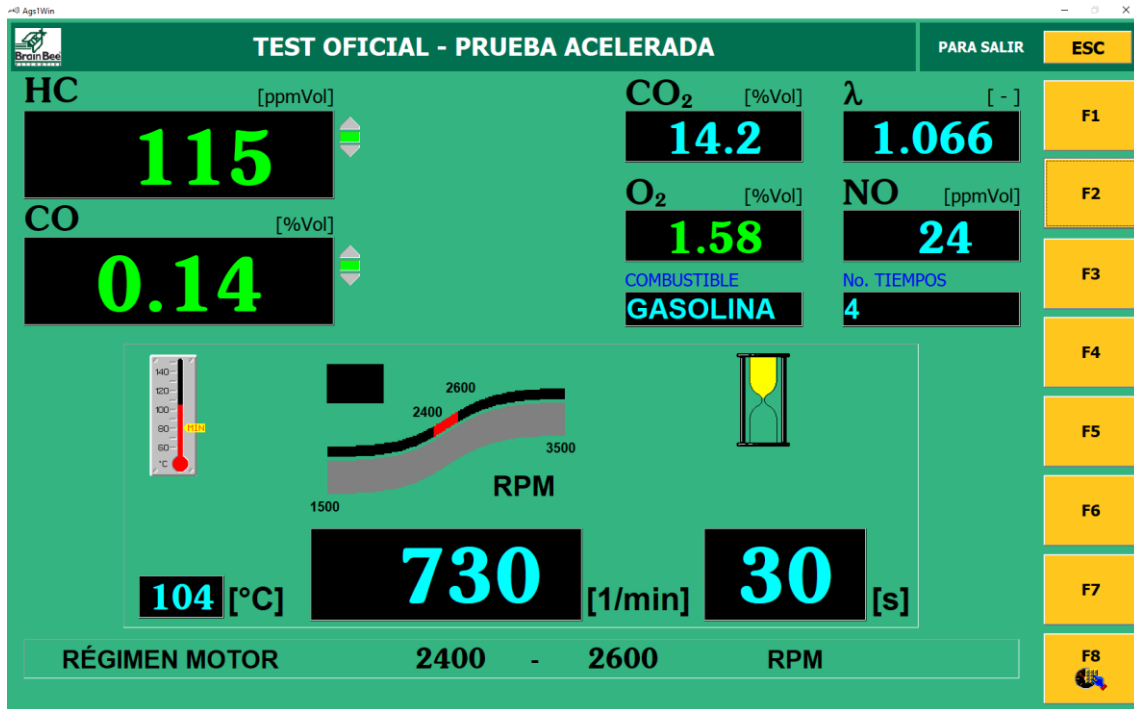
Prueba 4



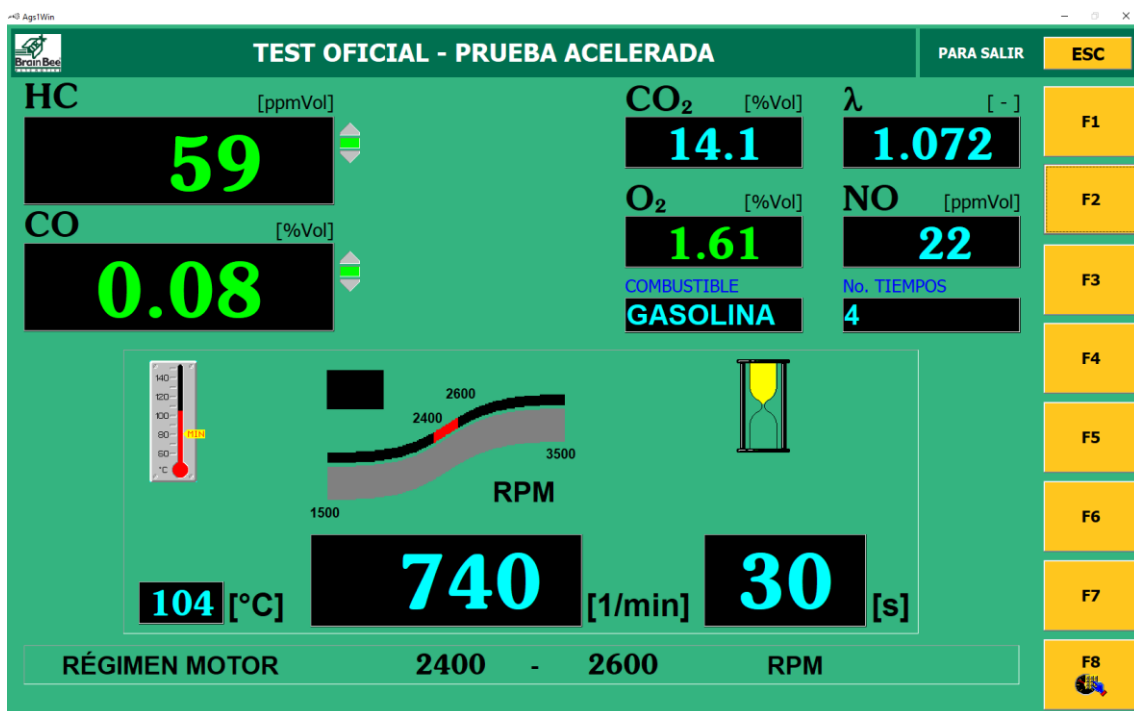
Prueba 5



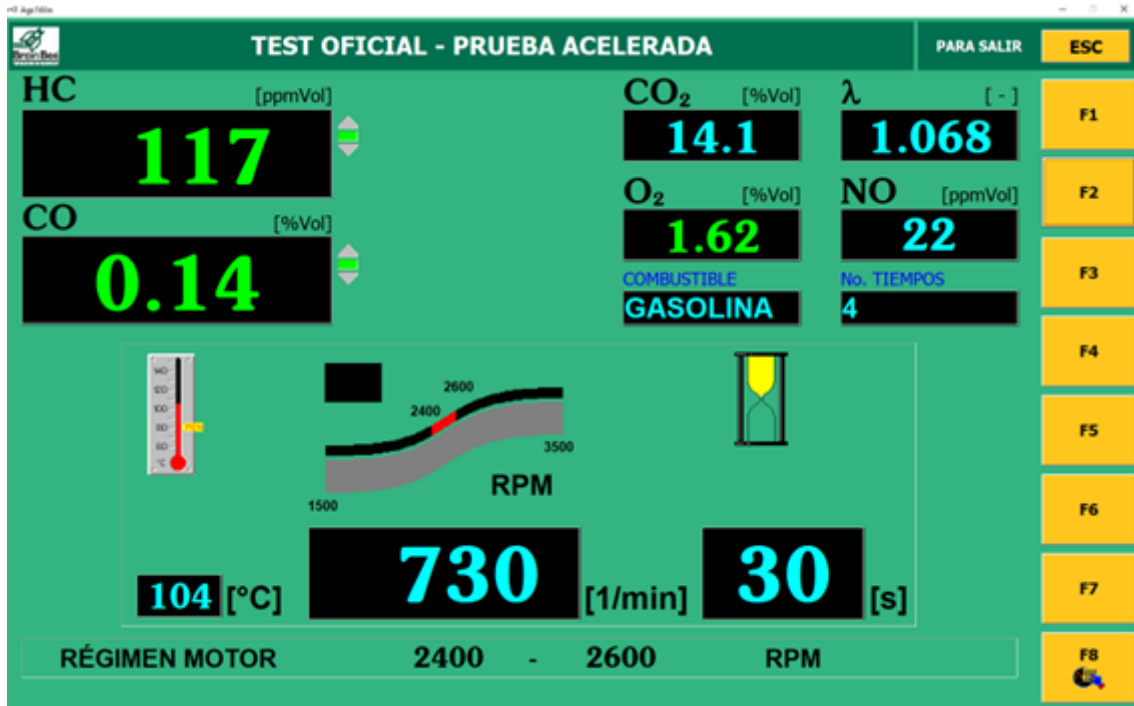
Prueba 6



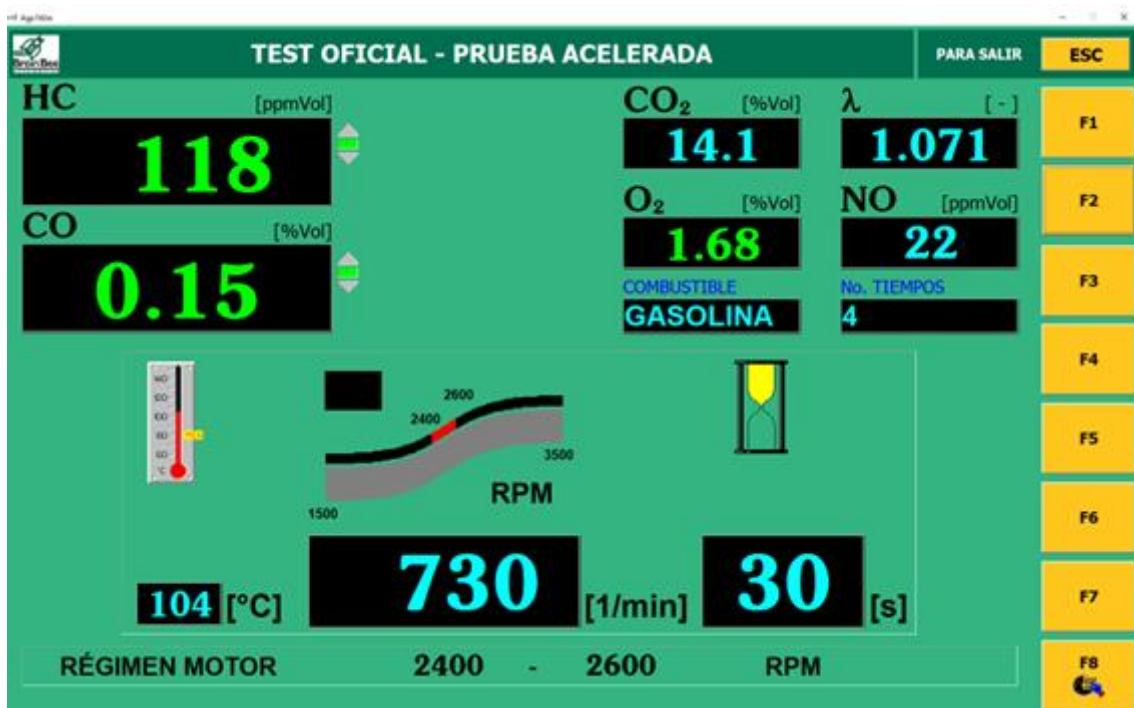
Prueba 7



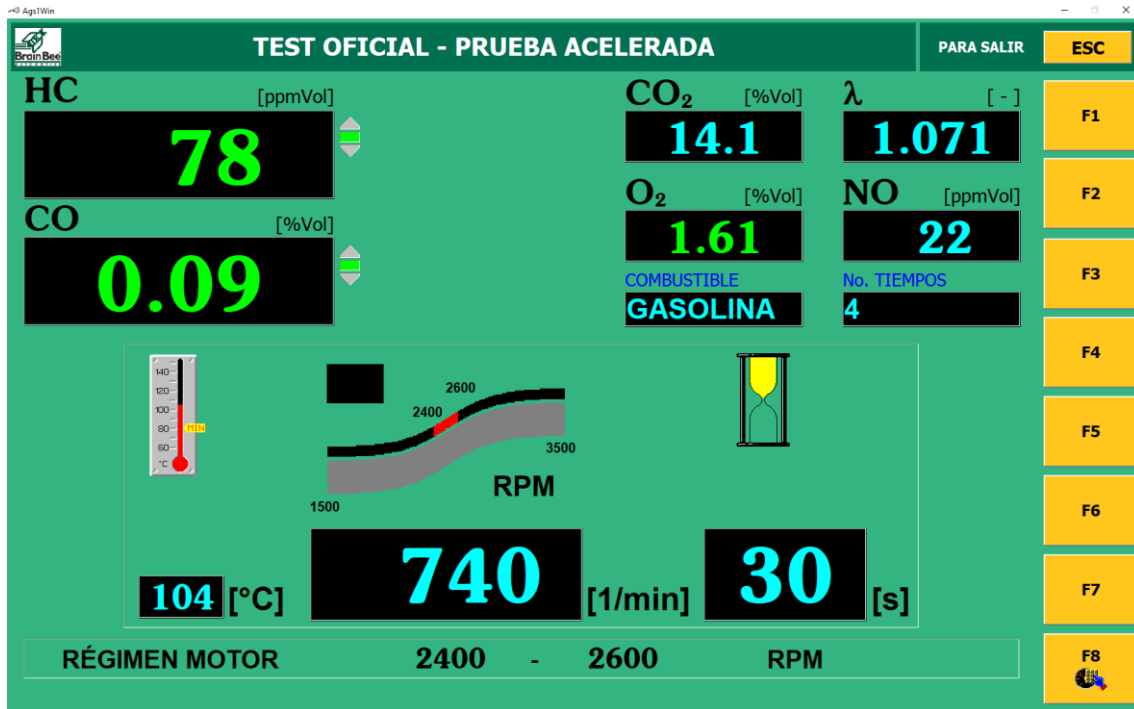
Prueba 8



Prueba 9



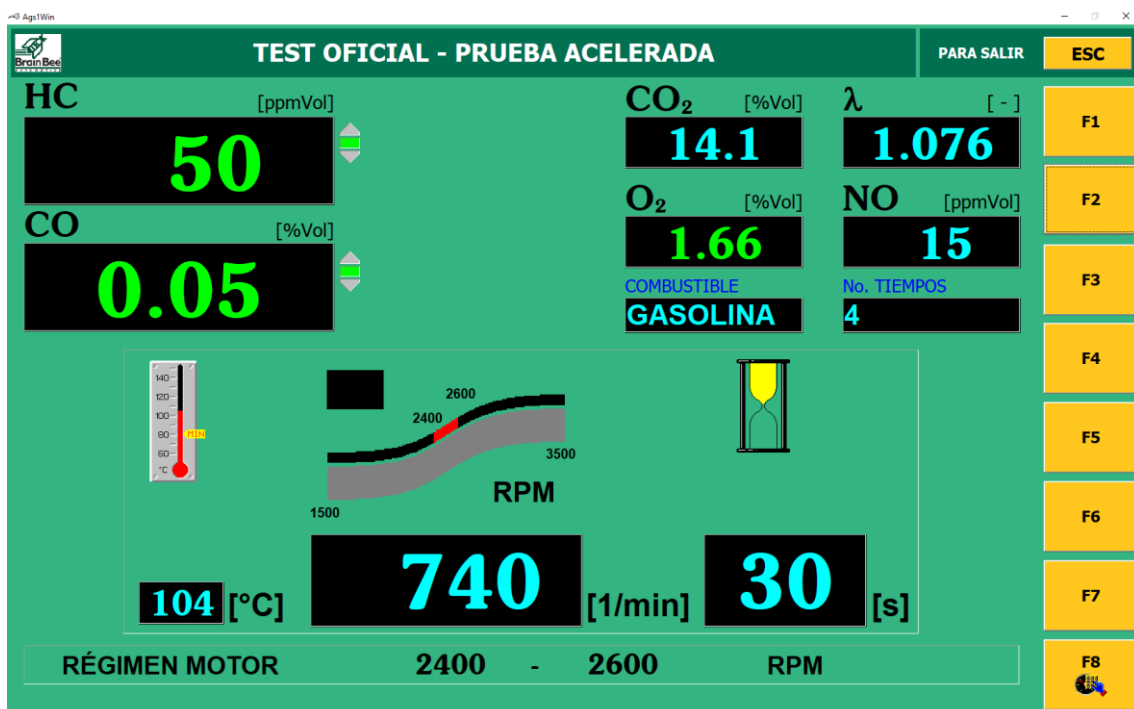
Prueba 10



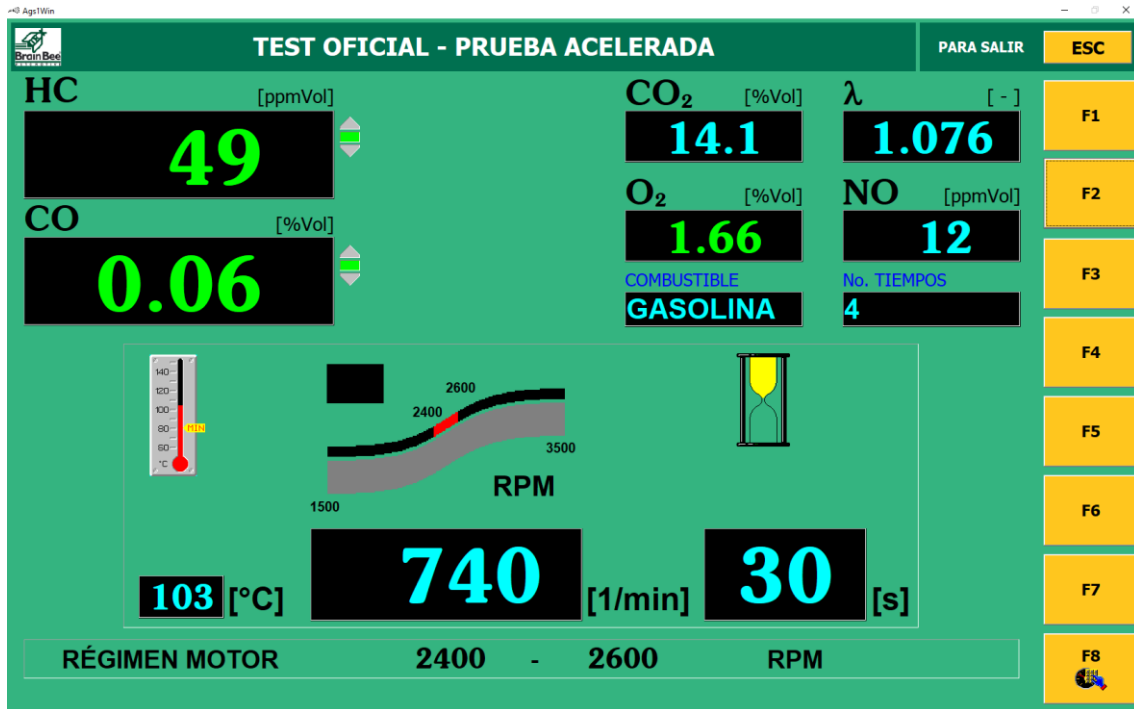
Anexo 12

Datos de marcha mínima 800 RPM con adición de hidrógeno.

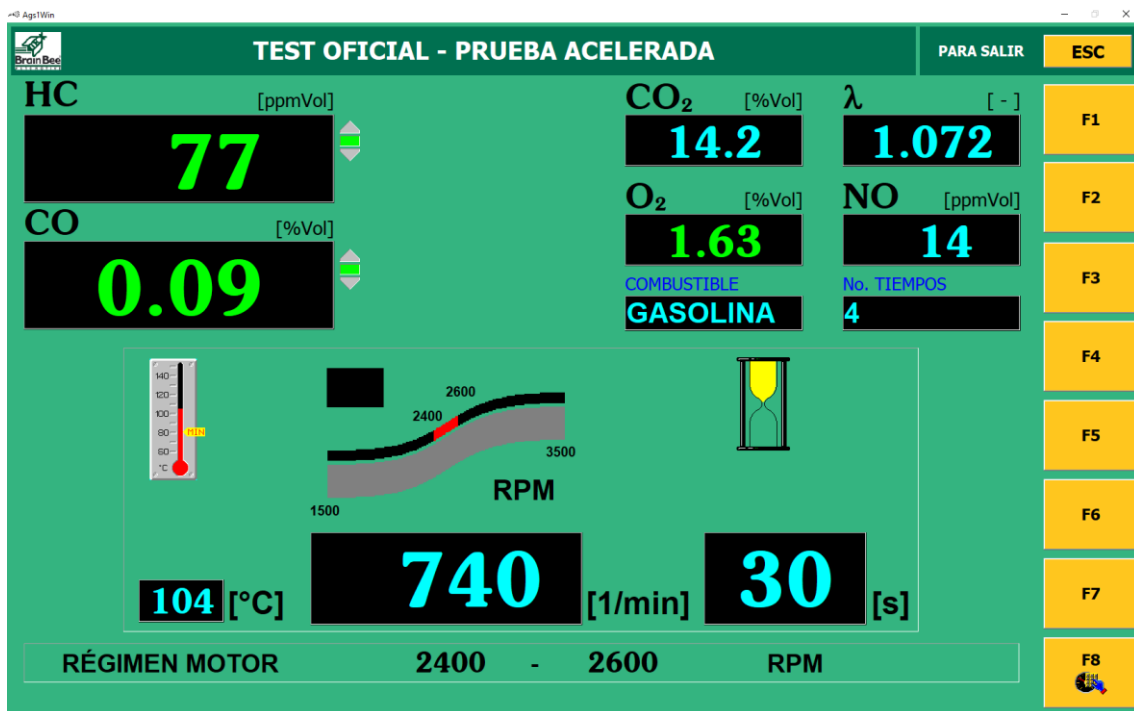
Prueba 1



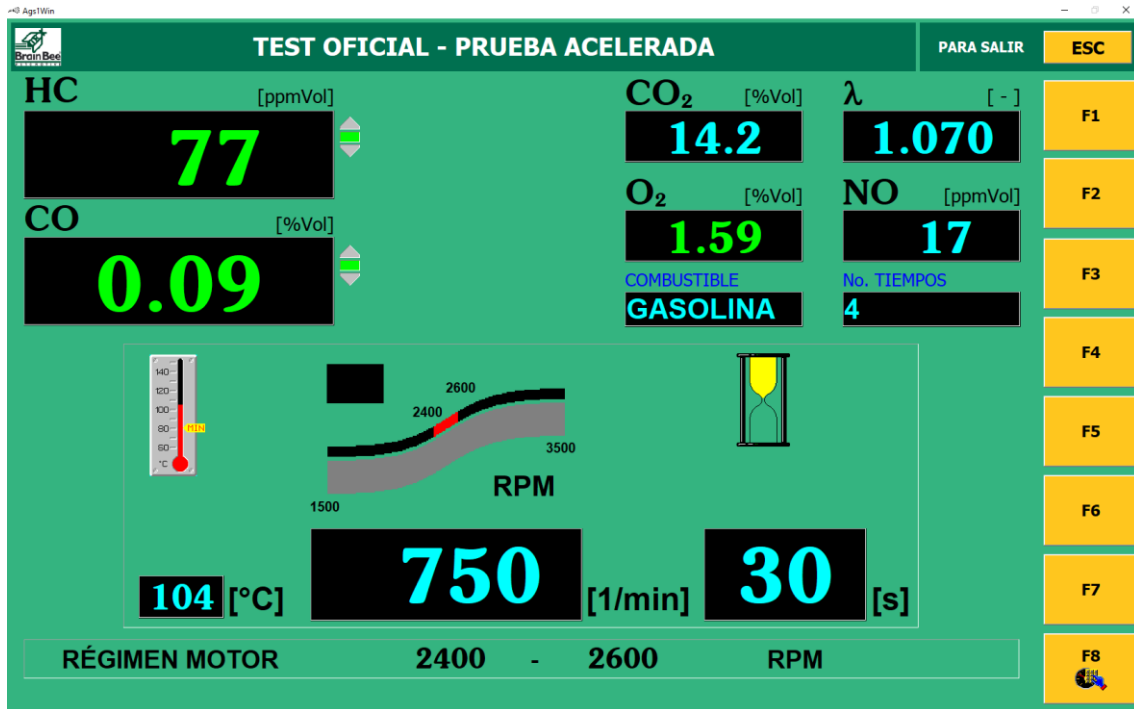
Prueba 2



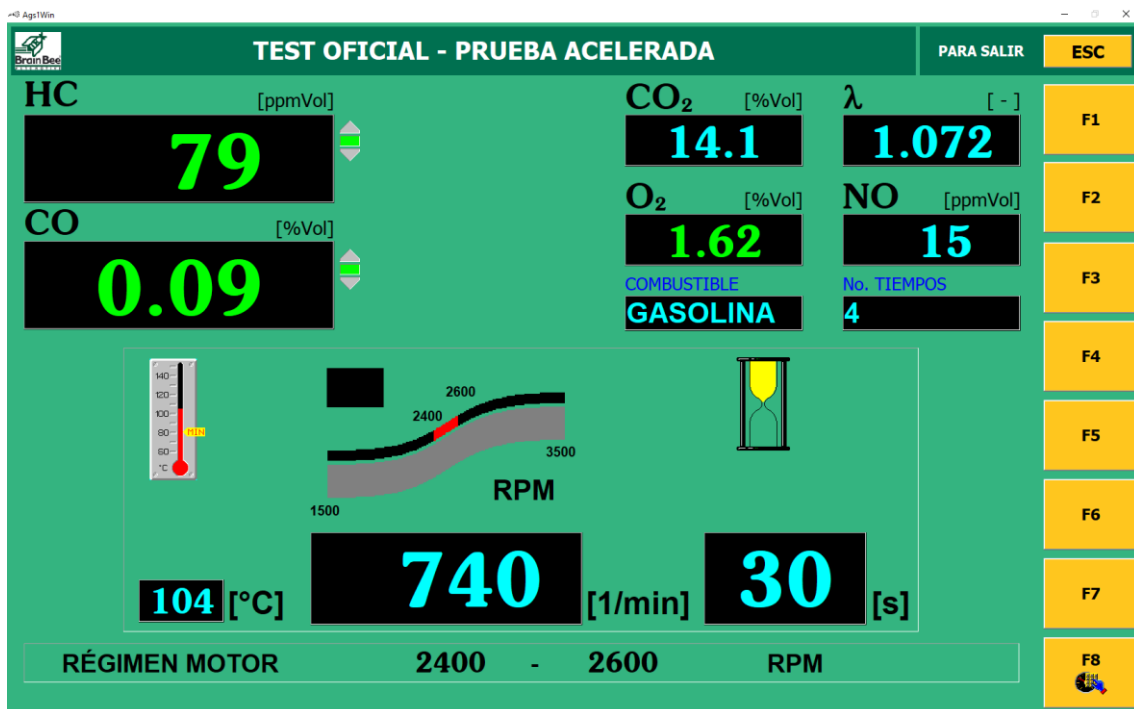
Prueba 3



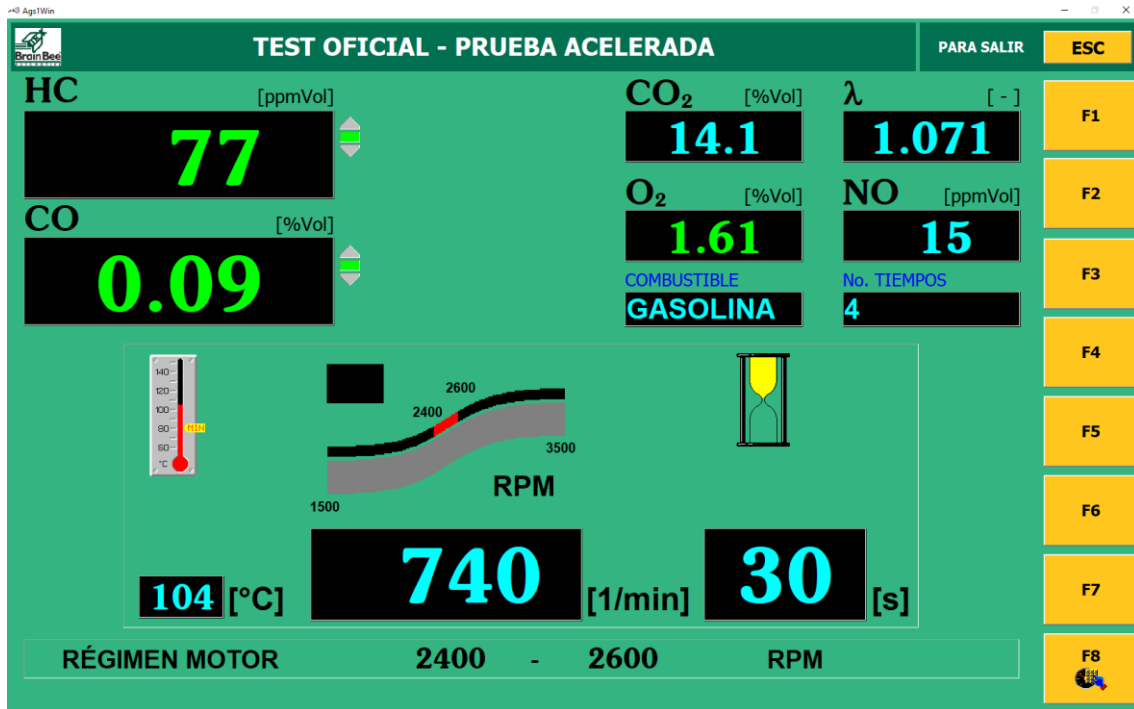
Prueba 4



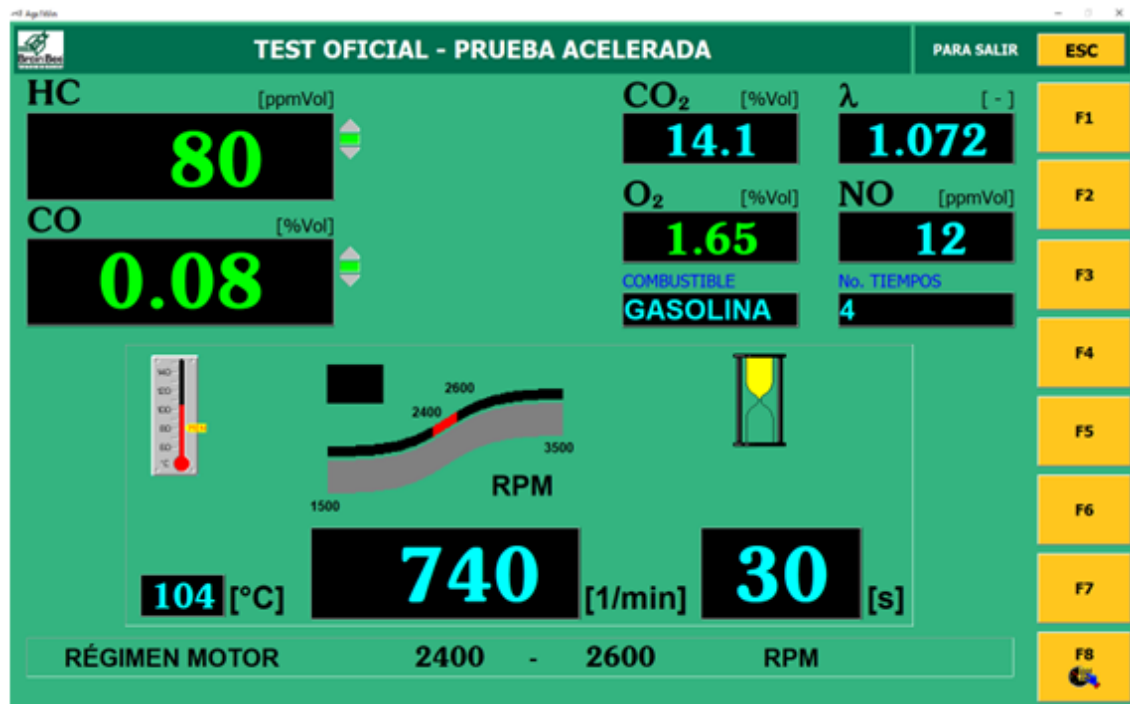
Prueba 5



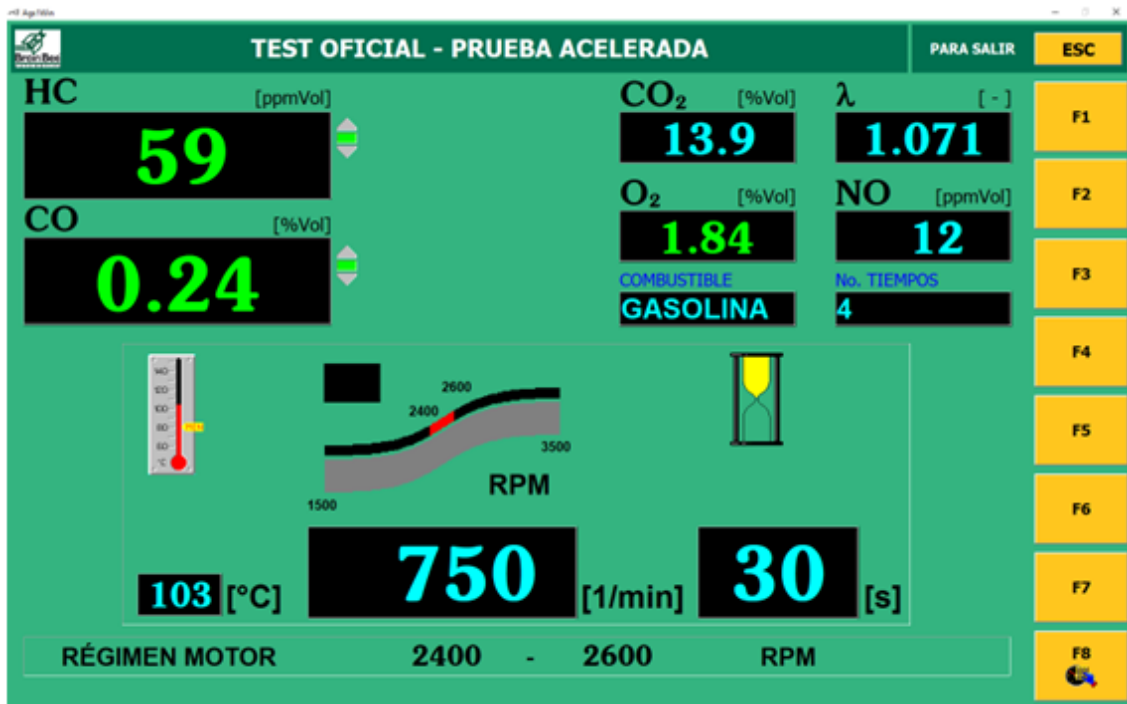
Prueba 6



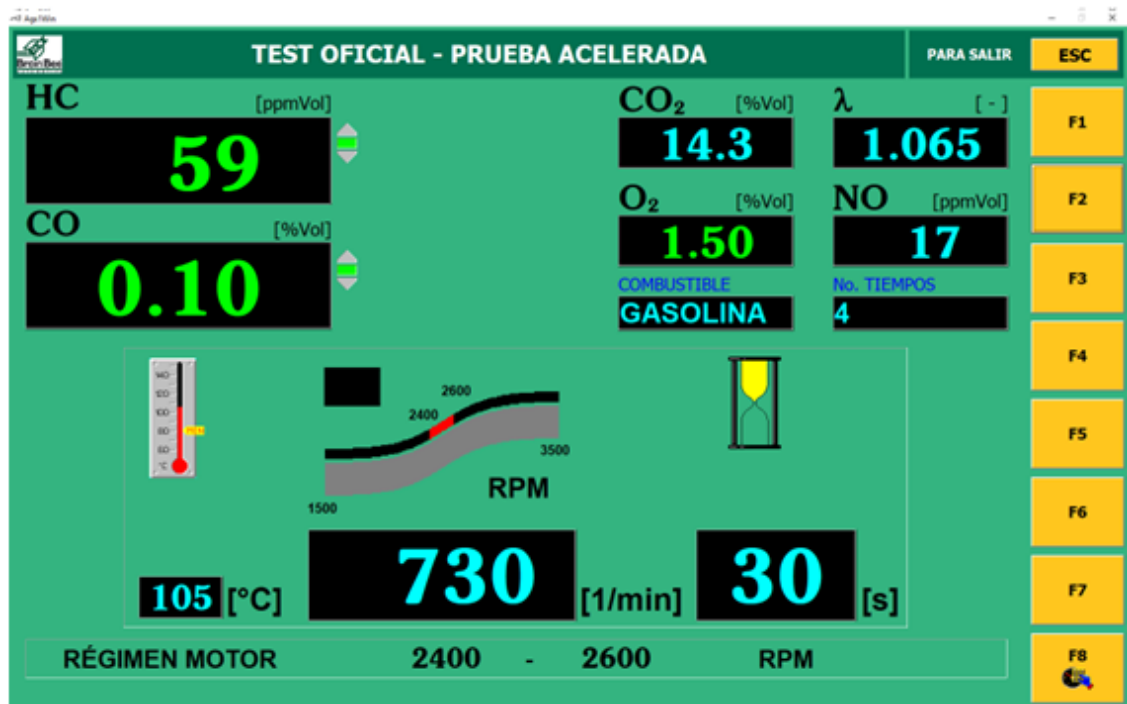
Prueba 7



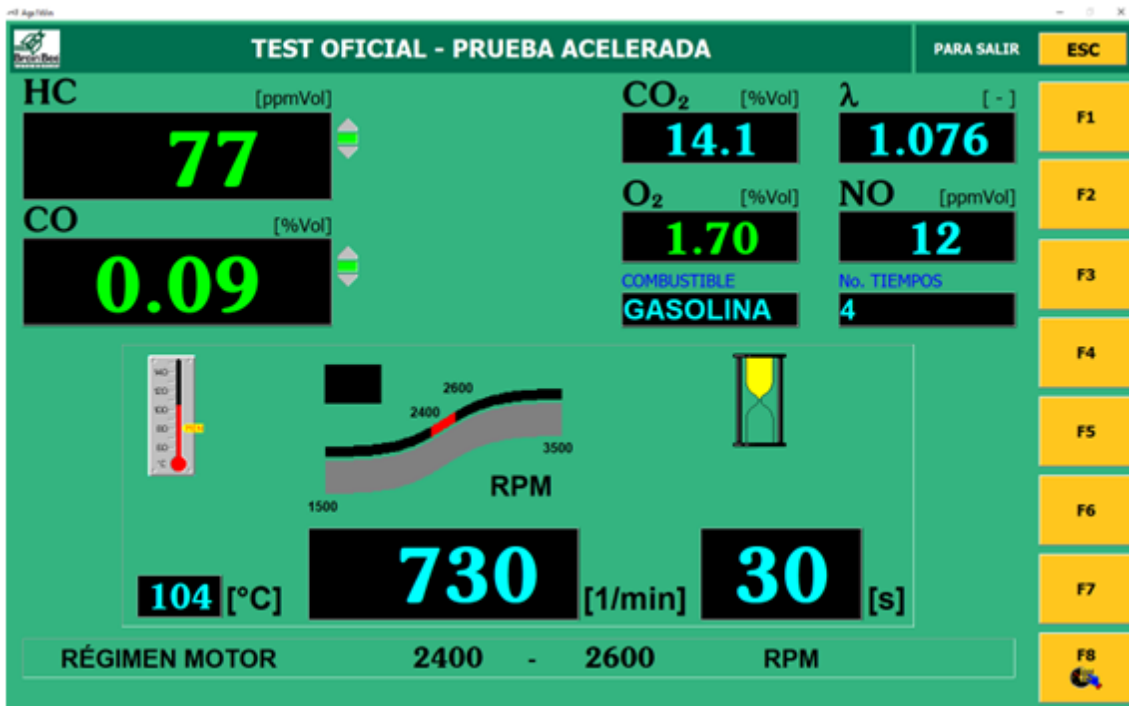
Prueba 8



Prueba 9



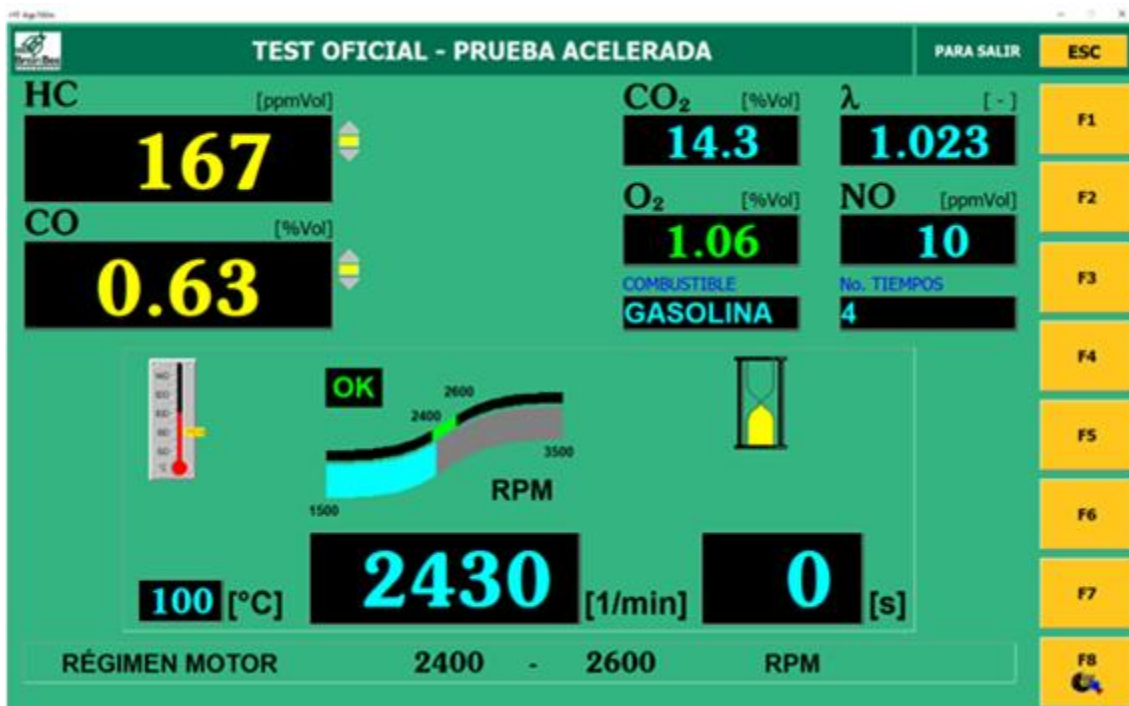
Prueba 10



Anexo 13

Datos de la prueba Dinámica a 2500 RPM sin Hidrógeno

Prueba 1



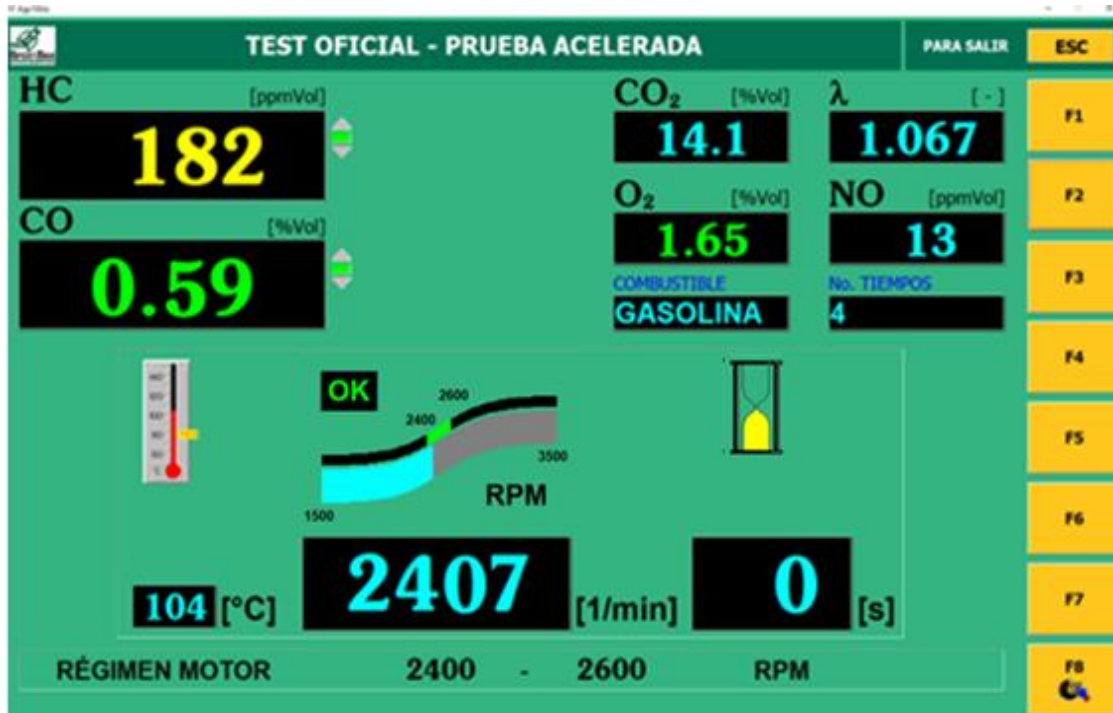
Prueba 2



Prueba 3



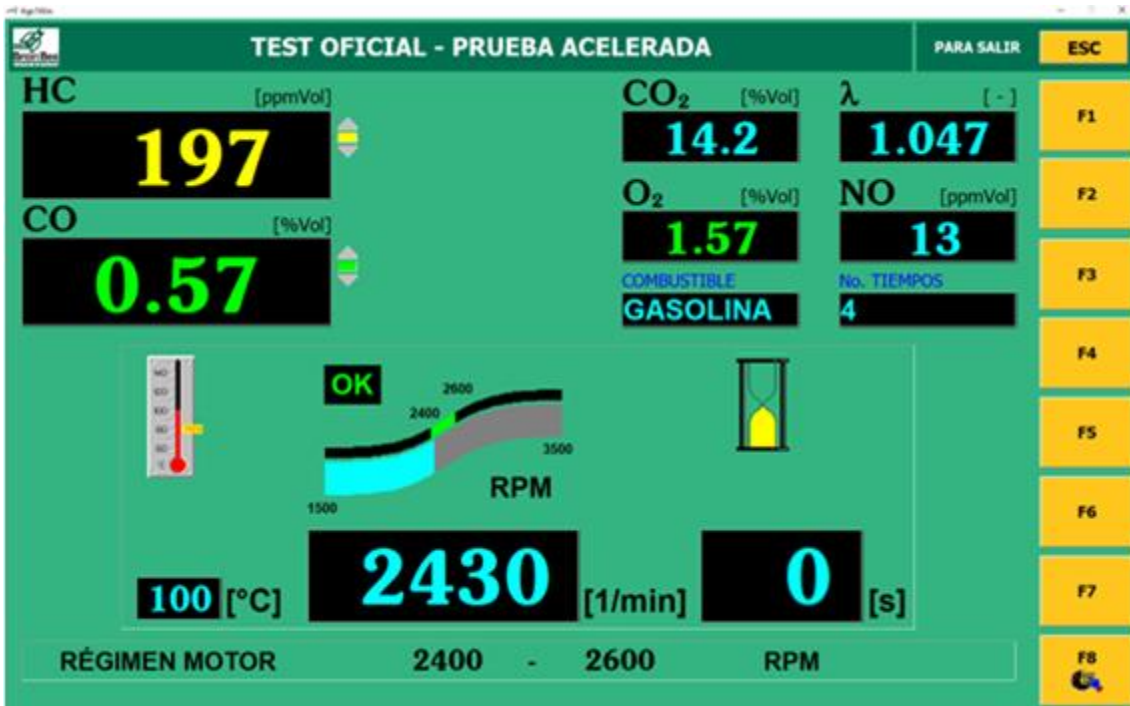
Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



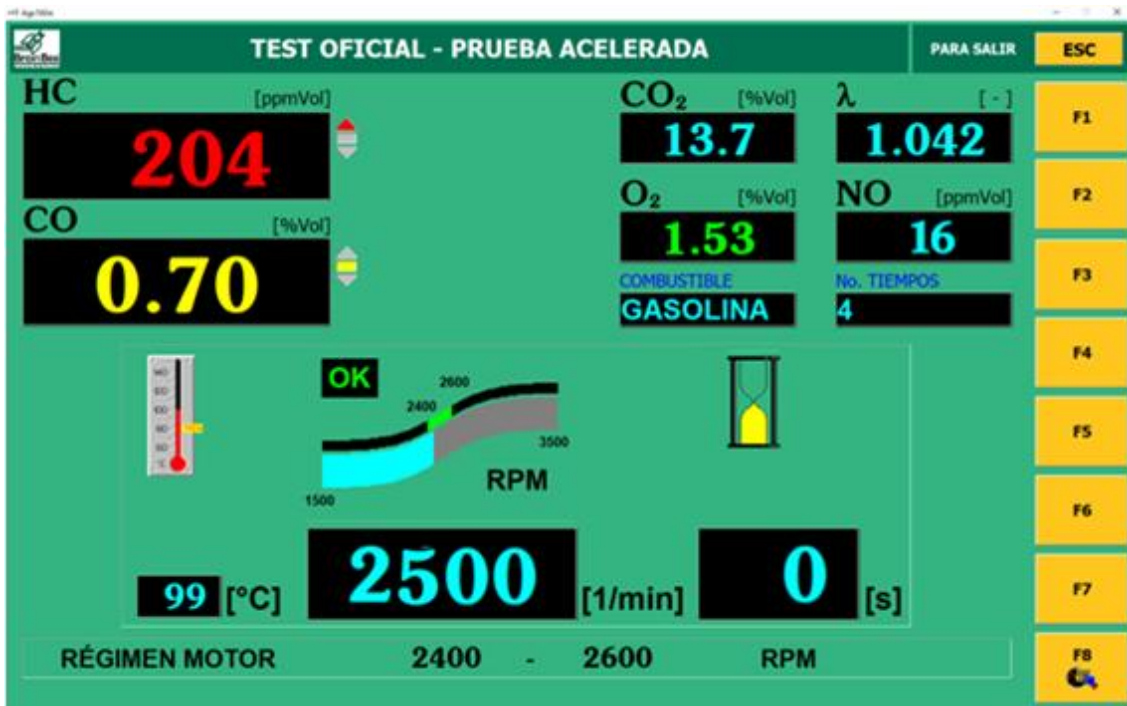
Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



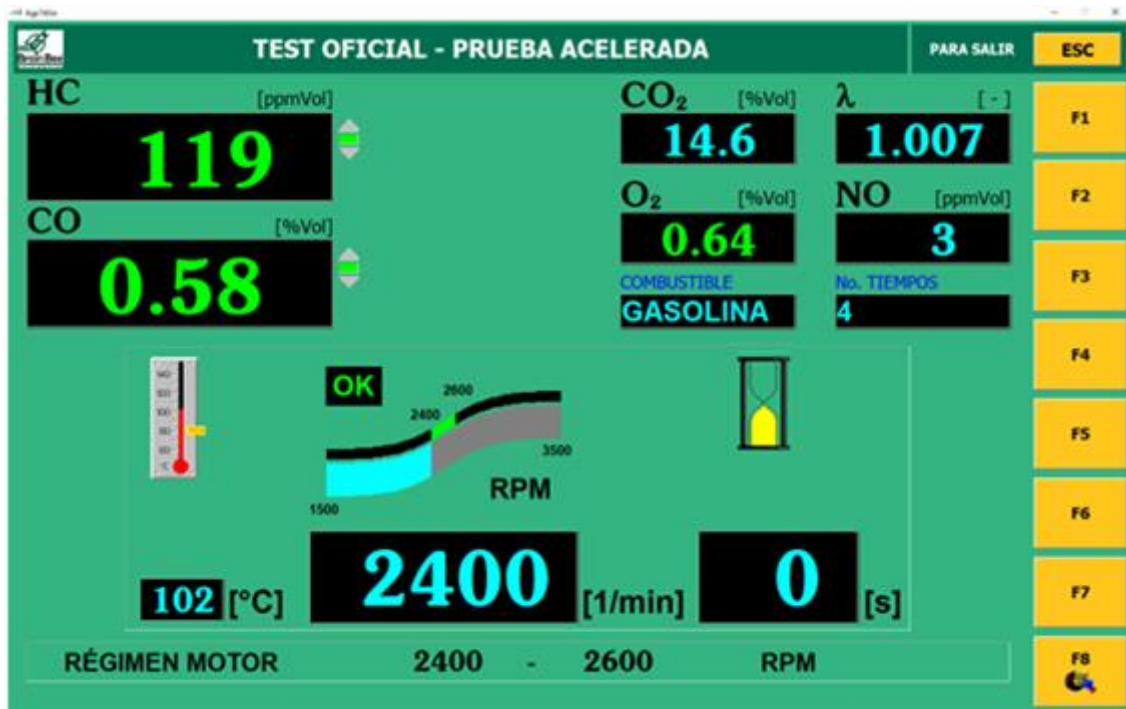
Anexo 14

Prueba Dinámica a 2500 RPM con adición de hidrógeno.

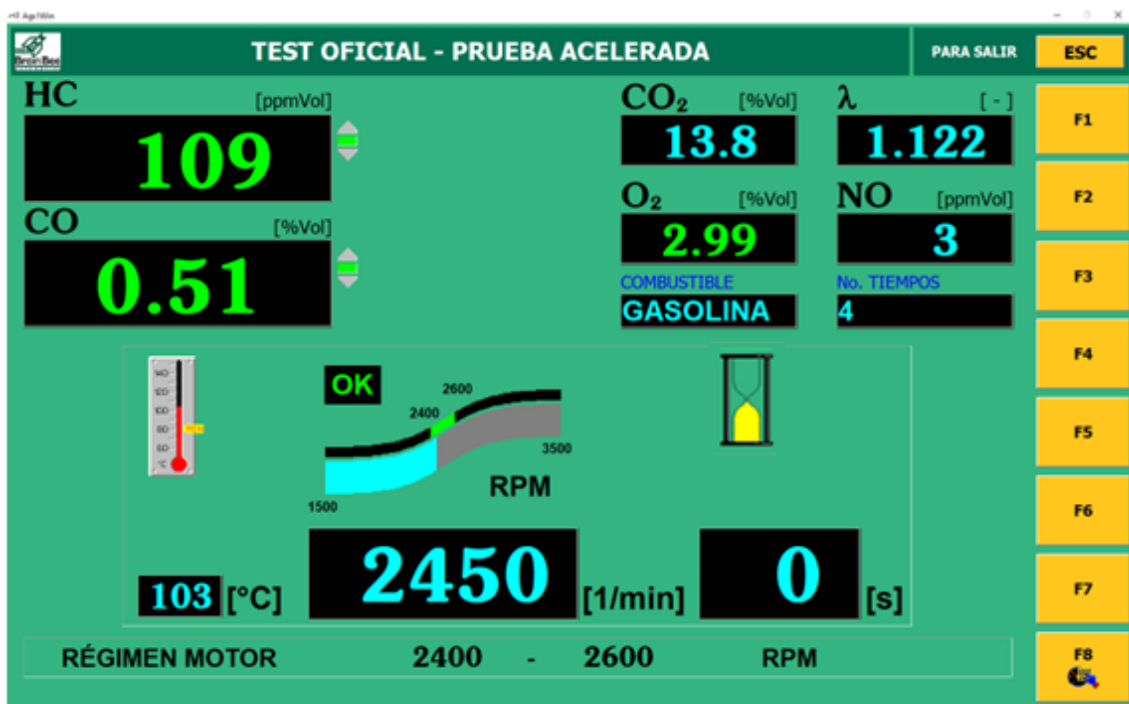
Prueba 1



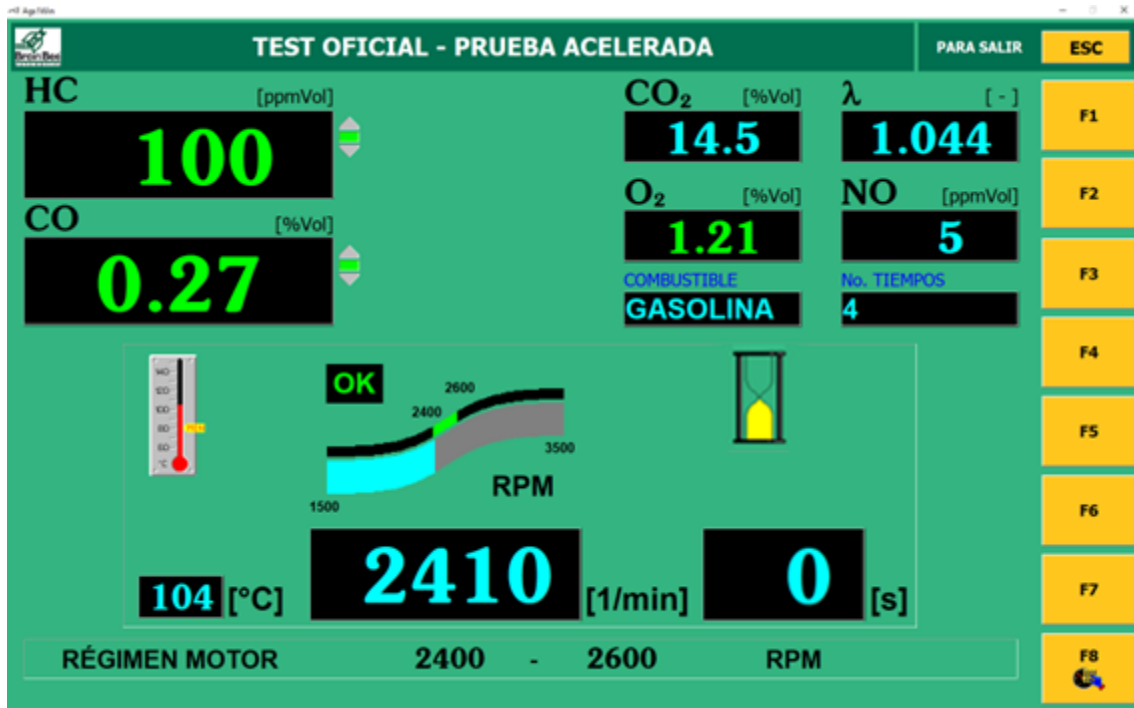
Prueba 2



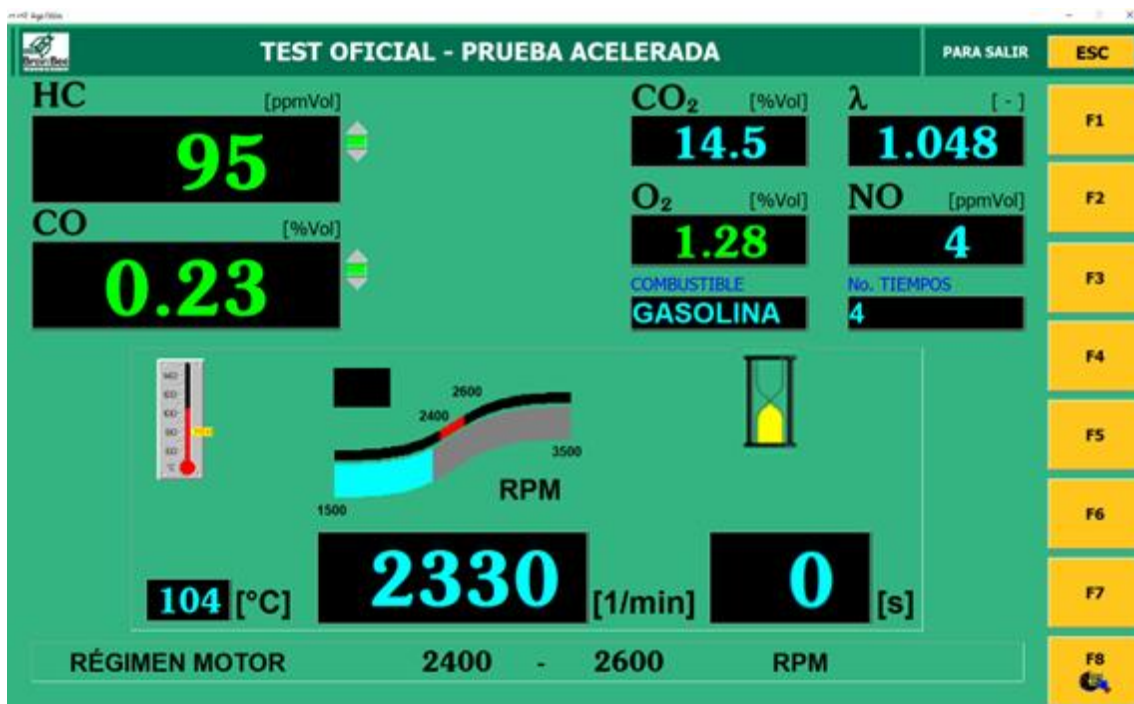
Prueba 3



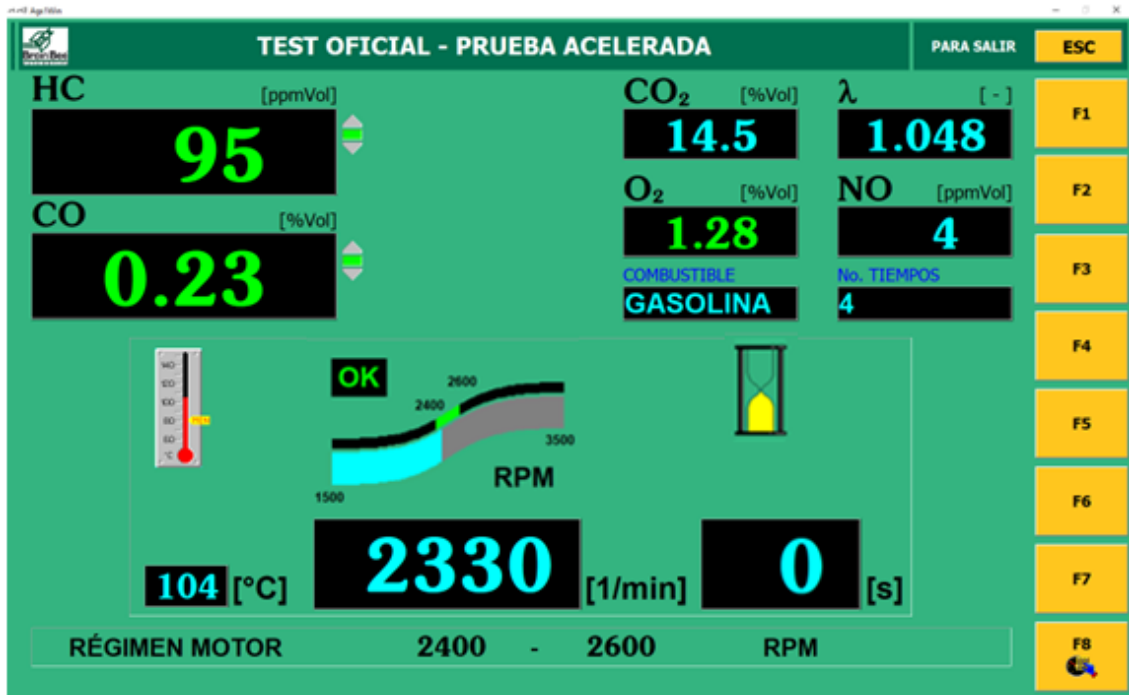
Prueba 4



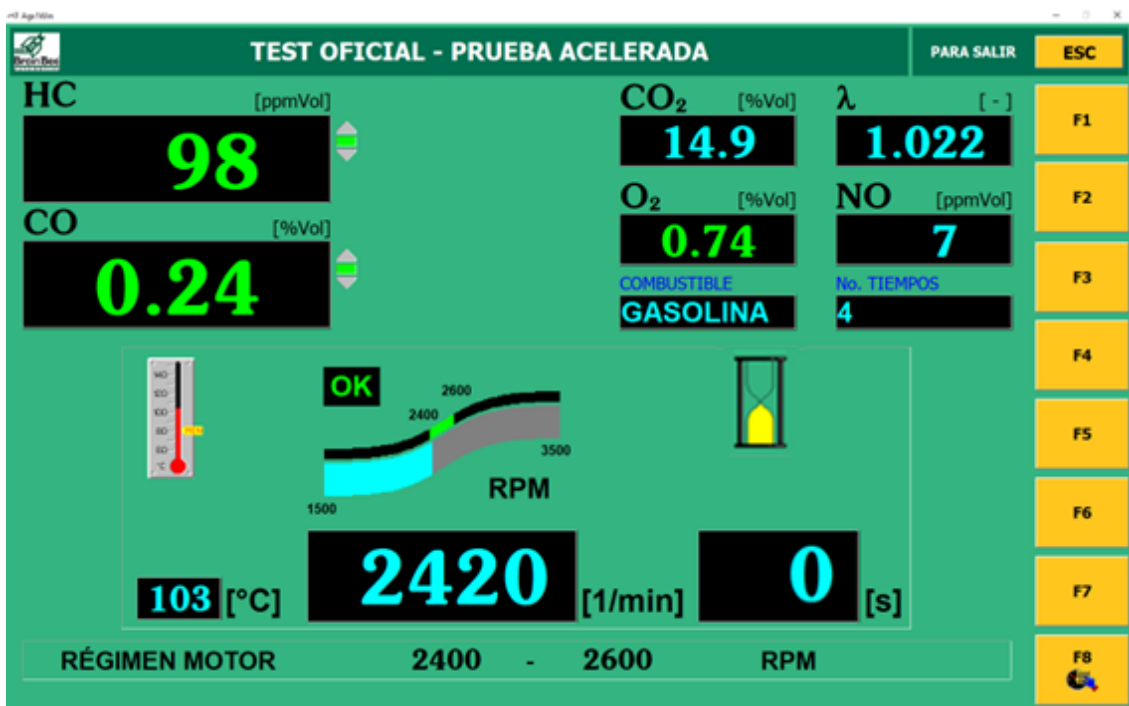
Prueba 5



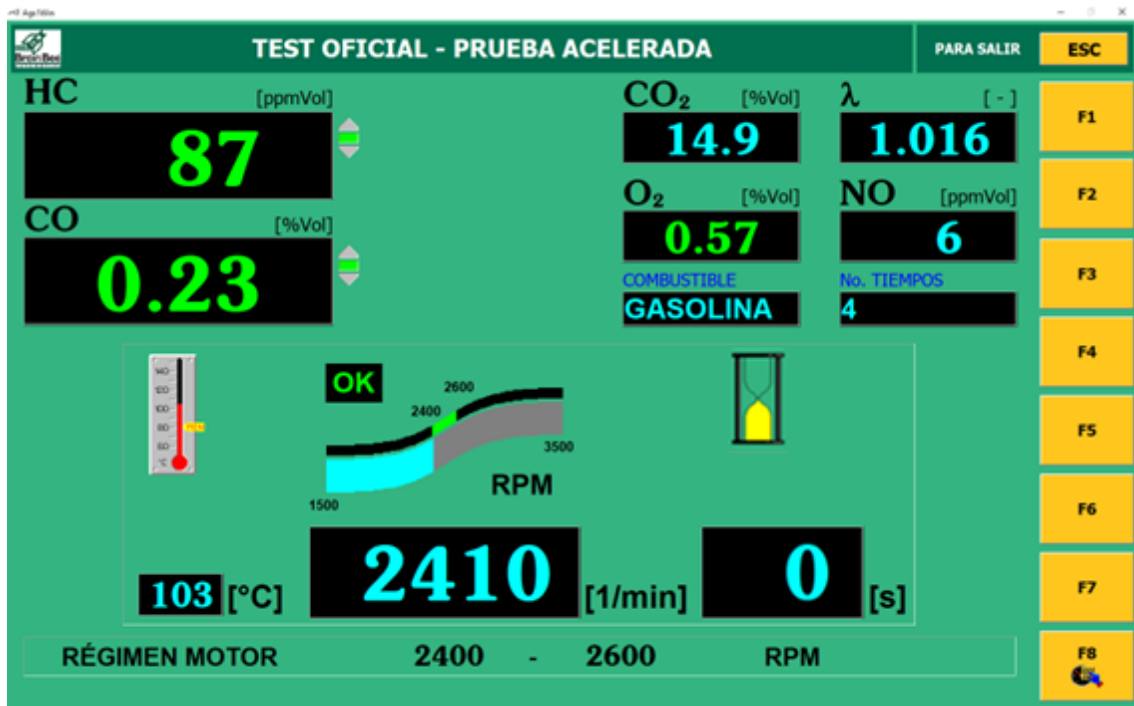
Prueba 6



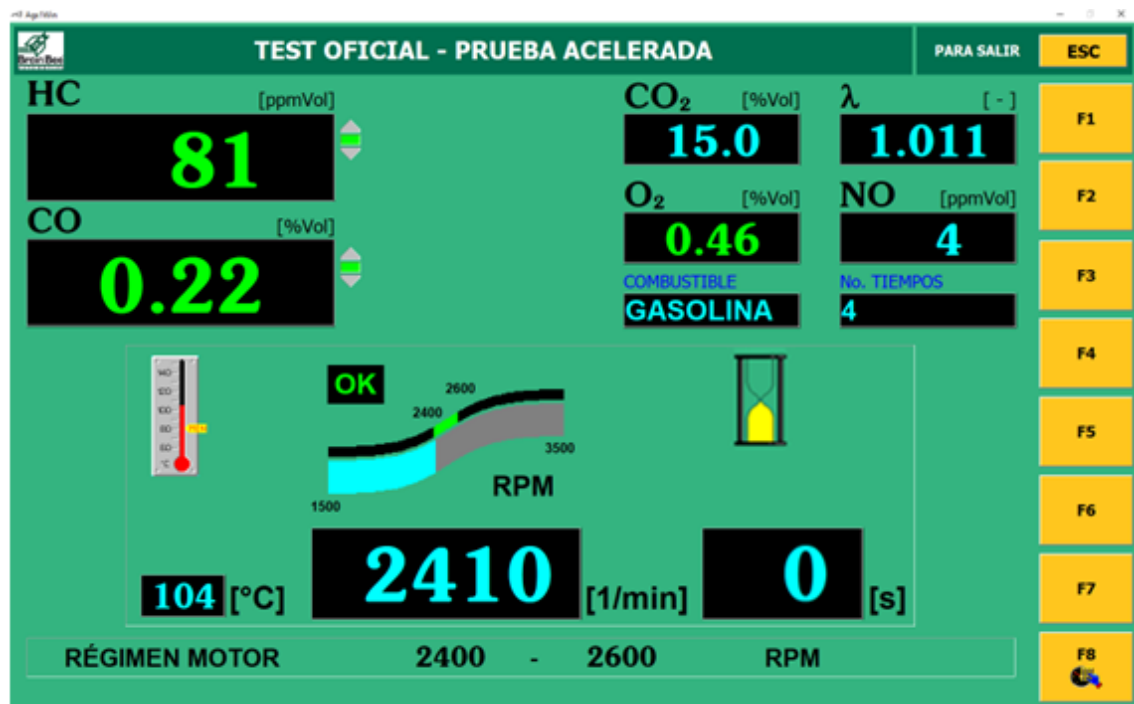
Prueba 7



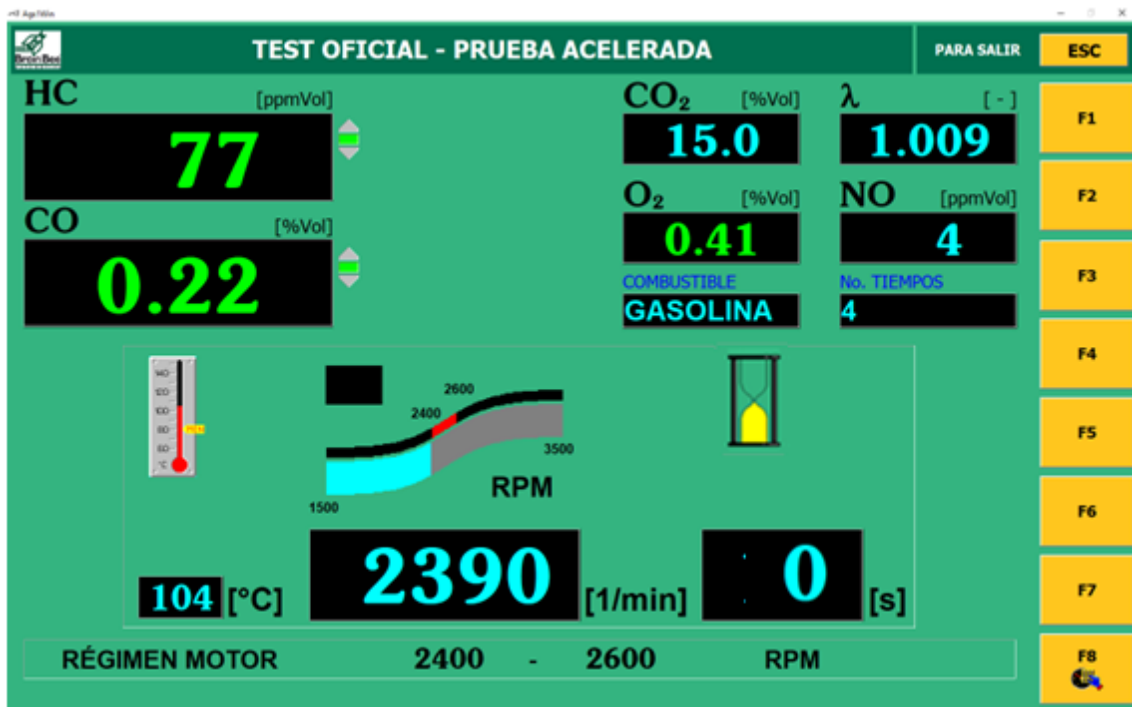
Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Normativas Aplicadas

Para obtener los datos por el proceso experimental esta investigación esta basada en el procedimiento de medición de las siguientes normativas citadas

Anexo 15

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

Anexo 16

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

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos primarios:

Para obtener los datos primarios encontramos los siguientes, permitiendo así facilitar las gráficas y a su vez el ingreso para el resultado del análisis de ANOVA, en la investigación nos enfocamos en los NOx y tomamos en cuenta el factor lambda para ver su comportamiento.

Anexo 17

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba de marcha mínima del factor Lambda, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.

Marcha mínima										
Lambda [-]										
Gasolina	1,089	1,083	1,077	1,079	1,067	1,066	1,072	1,068	1,071	1,071
Gasolina + H	1,076	1,076	1,072	1,07	1,072	1,071	1,072	1,071	1,065	1,076

Anexo 18

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica del factor Lambda, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.

2500 RPM										
Lambda [-]										
Gasolina	1,023	1,047	1,036	1,067	1,01	1,047	1,027	1,014	1,048	1,042
Gasolina + H	1,009	1,007	1,122	1,044	1,048	1,048	1,022	1,016	1,011	1,009

Anexo 19

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba de marcha mínima, de los NOx, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno

Marcha mínima

NOx [ppmVol]										
Gasolina	22	24	22	34	22	24	22	22	22	22
Gasolina + H	15	12	14	17	15	15	12	12	17	12

Anexo 20

Tabla descriptiva de los datos, de la prueba dinámica de los NOx, al utilizar solo gasolina y también añadiendo Hidrógeno.

2500 RPM

NOx [ppmVol]										
Gasolina	10	12	13	13	10	13	11	14	15	16
Gasolina + H	3	3	3	5	4	4	7	6	4	4

Anexo 21

Análisis Estadístico

Este análisis se llevó a cabo mediante el análisis de varianza ANOVA 1, este caso lo realizamos del factor Lambda y de los NOx conforme las tablas del Anexo 17-20

ANOVA 1, del Factor Lambda marcha mínima

Lambda [-] Marcha Mínima

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	10,743	1,0743	5,6678E-05
Fila 2	10	10,721	1,0721	1,1433E-05

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	2,42E-05	1	2,42E-05	0,71060359	0,41030573	4,41387342
Dentro de los grupos	0,000613	18	3,4056E-05			
Total	0,0006372	19				

ANOVA 1, del Factor Lambda a 2500

Lambda [-] a 2500 RPM

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	10	10,361	1,0361	0,00031032
Fila 2	10	10,336	1,0336	0,0012456

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	3,125E-05	1	3,125E-05	0,0401691	0,84339739	4,41387342
Dentro de los grupos	0,0140033	18	0,00077796			
Total	0,01403455	19				

Anexo 22

Análisis del ANOVA de los NOx, tanto en marcha mínima como la prueba dinámica

ANOVA 1, de los NOx marcha mínima

NOx [ppmVol] Marcha Mínima

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	236	23,6	14,0444444
Fila 2	10	141	14,1	4,1

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	451,25	1	451,25	49,7397428	1,4049E-06	4,41387342
Dentro de los grupos	163,3	18	9,07222222			
Total	614,55	19				

ANOVA 1, de los NOx prueba dinámica

NOx [ppmVol] a 2500 RPM

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	127	12,7	4,01111111
Fila 2	10	43	4,3	1,78888889

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	352,8	1	352,8	121,655172	1,9365E-09	4,41387342
Dentro de los grupos	52,2	18	2,9			
Total	405	19				

