



ING. AUTOMOTRIZ

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

AUTOR:
Males Caiza Richard Alexis

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

**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE NOX EN LOS MOTORES DE CICLO
ATKINSON APLICADOS A VEHÍCULOS HÍBRIDOS.”**

QUITO – ECUADOR | 2024

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Males Caiza Richard Alexis, 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.



Males Caiza Richard Alexis

1720897725

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.



CRISTIAN DAVID OÑA
RODRIGUEZ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian David Oña Rodríguez', written over a horizontal line.

Firma profesor

DEDICATORIA

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

A mis padres Miguel Males y Zoila Caiza, por todo su apoyo y amor incondicional, alentándome con consejos, enseñanzas y por todo el esfuerzo que realizan cada día de mi vida.

Males Caiza Richard Alexis

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos mis profesores que me formaron como profesional de república del Ecuador, brindándome sus conocimientos. A mi director de tesis, el cual fue un apoyo en el transcurso de las clases y mi proyecto de investigación.

A mis padres, hermana y esposa por el apoyo y fortaleza que me brindan en todo momento para seguir adelante con todo el amor que les tengo.

Males Caiza Richard Alexis

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	7
Resumen.	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5. CONCLUSIONES.....	30
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS INTRODUCCIÓN.....	33
Anexo 1	35
Chavez, P. I. I. (s/f). Procedimiento de Modo Mantenimiento en Vehículo Híbrido. Taaet. Recuperado el 28 de junio de 2024, de https://www.taaet.com.app.exur.com/news-taaet-blog/modo-mantenimiento-vehiculo-hibrido-toyota	35
Anexo 2	35
RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES” Modificatoria. (2017). https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/M2-RTE-017.pdf	35
Anexo 3	35
Gerardo, L., Vela, S., De Jesús, M., Gallegos, F., Flores, O., José, C., Hernández, R., David, J., Vega, V., Eliseo, M., & Acevedo, C. (2019). REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA.	35
Anexo 4	35
Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. https://archive.org/details/ec.ntc.2349.2003/page/n5/mode/2up?view=theate	35
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	35
Anexo 5	35
Hartinger, S. M., Yglesias-González, M., Blanco-Villafuerte, L., Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Stewart-Ibarra, A., Rojas-Rueda, D., Melo, O., Takahashi, B., Buss, D., Callaghan, M., Chesini, F., Flores, E. C., Gil Posse, C., Gouveia, N., Jankin, S., Miranda-Chacon, Z., Mohajeri, N., Helo, J., & Ortiz, L. (2023). The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: trust the	

science. Now that we know, we must act. The Lancet Regional Health - Americas, 20, 100470. https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470	35
Anexo 6	35
Telégrafo, E. (2023, April 3). Este es el país de América Latina en el que más personas mueren por contaminación del aire. El Telégrafo. https://www.eltelgrafo.com.ec/noticias/mundo/8/este-es-el-pais-de-america-latina-en-el-que-mas-personas-mueren-por-contaminacion-del-aire	35
Anexo 7	36
Torres, I., Stewart-Ibarra, A., Borbor-Cordova, M., & Romero-Alvarez, D. (2023). Health and climate challenges in Ecuador. <input type="checkbox"/> the <input type="checkbox"/> Lancet Regional Health. Americas, 22, 100501–100501. https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100501	36
Anexo 8	36
Alexis, M., & Romero, M. (2015). UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS MODELO A TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ. Retrieved March 21, 2024, from https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/829/1/T-UIDE-05.pdf	36
Anexo 9	36
Henao-Castañeda, E., Romero-Piedrahita, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna. Revista UIS Ingenierías, 18(2), 167–176. https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019016	36
Anexo 10	36
Alexander, D., Pallarozo, S., Carlos, J., Arias, C., Adrián Xavier, I., & Reinoso, S. (2021).UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ANÁLISIS DE LA EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO TOYOTA PRIUS C HYBRID 1.5L EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE CUENCA, PARA DETERMINAR SU IMPACTO. Retrieved March 21, 2024, from https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21163/1/UPS-CT009295.pdf	36
Anexo 11	36
Chele Sancan, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. INNOVA Research Journal, 2(12), 1–10. https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.527	36
ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS	36
Anexo 12	38
Equipos utilizados en la investigación.....	38

Anexo 13	38
En este anexo se describe el procedimiento que el analizador de gases requiere antes de realizar las mediciones.	38
Anexo 14	42
Prueba dinámica a 2500 RPM en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina EXTRA.	42
Anexo 15	46
Prueba dinámica a 2500 RPM en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina SUPER.	46
Anexo 16	49
Prueba en ralentí en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina EXTRA.	49
Anexo 17	52
Prueba en ralentí en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina SUPER.	52
Anexo 18	56
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	56
NORMATIVAS APLICADAS	56
Anexo 19	56
Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. https://archive.org/details/ec.nte.2349.200	56
Anexo 20	56
Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2204: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive.....	56
https://ia902909.us.archive.org/12/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf	56
Anexo 21	56
Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). NTE INEN 2207: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive.	56
https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2207.pdf	56
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
Anexo 22	57
Tabla que detalla los datos obtenidos de la prueba dinámica a 2500 RPM utilizando gasolina extra y super.....	57
Anexo 23	57

Análisis comparativo de CO [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.	57
Anexo 24	58
Análisis comparativo de CO ₂ [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.	58
Anexo 26	59
Análisis comparativo de O ₂ [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.....	59
Anexo 27	59
Análisis comparativo de lambda [-] a 2500 RPM con gasolina extra y super.....	59
Anexo 28	60
Análisis comparativo de NO _x [ppmVol] a 2500 RPM con gasolina extra y super. ...	60
Anexo 29	60
Análisis comparativo de temperatura a 2500 RPM con gasolina extra y super.....	60
Anexo 30	61
Tabla que detalla los datos obtenidos de la prueba en ralentí utilizando gasolina extra y super.....	61
Anexo 31	61
Análisis comparativo de CO [%] en ralentí con gasolina extra y super.	61
Anexo 32	62
Análisis comparativo de CO ₂ [%] en ralentí con gasolina extra y super.	62
Anexo 33	62
Análisis comparativo de HC [ppm] en ralentí con gasolina extra y super.....	62
Anexo 34	63
Análisis comparativo de O ₂ [%] en ralentí con gasolina extra y super.	63
Anexo 35	63
Análisis comparativo de lambda [-] en ralentí con gasolina extra y super.	63
Anexo 36	64
Análisis comparativo de NO _x [ppmVol] en ralentí con gasolina extra y super.	64
Anexo 37	64
Análisis comparativo de temperatura en ralentí con gasolina extra y super.....	64
Anexo 38	64
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
Análisis de varianza (ANOVA 1) para cada tipo de gas, incluyendo el factor lambda de la prueba a 2500 RPM, según se muestra en la tabla del anexo 22.....	64
Anexo 39	68
Análisis de varianza (ANOVA 2) para cada tipo de gas, incluyendo el factor lambda de la prueba en ralentí, según se muestra en la tabla del anexo 30.....	68

“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE NOX EN LOS MOTORES DE CICLO ATKINSON APLICADOS A VEHÍCULOS HÍBRIDOS”

Prof. Cristian Oña¹, Males Richard.²

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

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador
rimalesca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen.

Introducción. El desarrollo tecnológico en el parque automotor se centra en la implementación continua de nuevas tecnologías, como los vehículos híbridos, que ofrecen ventajas significativas como menor consumo de gasolina y reducción de emisiones de gases contaminantes como el CO y los HC. En Ecuador, sin embargo, estos vehículos no son sometidos a pruebas exhaustivas de emisiones, particularmente en cuanto a la cantidad de monóxido de carbono, conocido por sus efectos adversos en la salud respiratoria. Este estudio se propone cuantificar y analizar la generación de NOx en motores de ciclo Atkinson instalados en vehículos híbridos, utilizando el analizador de gases Brain Bee y el modelo estadístico ANOVA. **Metodología:** Se aplicó el método experimental según la norma NTE INEN 2349 y se empleó el análisis estadístico ANOVA para medir la variabilidad de los datos recopilados. Este enfoque facilitó la evaluación de la hipótesis nula, determinando si los resultados obtenidos fueron estadísticamente significativos o no. **Resultado:** Los resultados demostraron que al utilizar ambas gasolinas se genera NOx. Durante la prueba dinámica a 2500 RPM, se registraron los siguientes promedios: 92.7 ppmVol con gasolina extra y 52.1 ppmVol con gasolina súper. En contraste, en la prueba estática de ralentí, se observó un promedio de 30.2 ppmVol con gasolina extra y 22.2 ppmVol con gasolina súper. Además, se presentan gráficos y un análisis detallado de cada uno de los gases, incluyendo el comportamiento de la variación de NOx. **Conclusión:** Los motores de ciclo Atkinson generan óxidos nitrosos. Según los hallazgos de la investigación, se determinó que la generación de NOx es mayor al utilizar gasolina extra en comparación con gasolina súper. Estos resultados subrayan la necesidad de realizar análisis y futuras investigaciones en este campo, especialmente considerando que la temperatura juega un papel crucial en la producción de NOx.

Palabras claves: Óxidos Nitrosos, Ciclo Atkinson, ANOVA, Vehículos Híbridos.

Abstract.

Introduction: Technological development in the automotive sector focuses on continuous implementation of new technologies, such as hybrid vehicles, which offer significant advantages such as reduced gasoline consumption and lower emissions of pollutants like CO and HC. However, in Ecuador, these vehicles are not subjected to comprehensive emissions testing, particularly concerning the amount of carbon monoxide, known for its adverse effects on respiratory health. This study aims to quantify and analyze the generation of NOx in Atkinson cycle engines installed in hybrid vehicles, using the Brain Bee gas analyzer and ANOVA statistical model. **Methodology:** The experimental method was applied following the NTE INEN 2349 standard, and ANOVA statistical analysis was employed to measure the variability of collected data. This approach facilitated the evaluation of the null hypothesis, determining whether the results obtained were statistically significant or not. **Results:** The findings demonstrated that using both types of gasoline results in NOx generation. During the dynamic test at 2500 RPM, the following averages were recorded: 92.7 ppmVol with regular gasoline and 52.1 ppmVol with premium gasoline. In contrast, during the static idle test, averages of 30.2 ppmVol with regular gasoline and 22.2 ppmVol with premium gasoline were observed. Additionally, graphs and a detailed analysis of each gas, including the behavior of NOx variation, are presented. **Conclusion:** Atkinson cycle engines produce nitrogen oxides. According to the research findings, it was determined that NOx generation is higher when using regular gasoline compared to premium gasoline. These results underscore the need for further analysis and future research in this field, especially considering the significant role of temperature in NOx production.

Keywords: Nitrogen Oxides, Atkinson Cycle, ANOVA, Hybrid Vehicles.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el constante desarrollo tecnológico de los vehículos híbridos están en constante evolución ya que su comercialización y utilización en nuestro medio y a nivel mundial es cada vez mucho más, estos vehículos a diferencia de los vehículos de combustión interna son automóviles autopropulsados por dos motores, esto depende mucho de la configuración de trabajo de estos dos, es así que siempre va a estar presente un motor de combustión interna y un motor eléctrico, esta unión permite ciertas ventajas entre ellas es consumir menor combustible (gasolina) y generar menos cantidad de gases contaminantes al medio ambiente (CO/HC), pero en Ecuador estos vehículos no son sometidos a ningún tipo de testeo de los gases contaminantes que están generando, La modificatoria 2 (2017-11.29) de RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES” (RTE INEN 017 Modificatoria, 2017), en la página 2, numeral 2, inciso 2.3 afirma que, el presente reglamento no aplica a Vehículos híbridos cuya energía motriz no provenga de combustible de origen fósil, por consiguiente estos vehículos híbridos de la configuración que sea, no son sometidos a un control de gases contaminantes en Ecuador.

Dentro de los gases contaminantes que se generan por el procesos mismo de combustión de un motor, la prevalencia de control por los entes reguladores como, 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), tienen como objetivo principal supervisar y regular la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y material particulado (PM). (Gerardo et al., 2019).

Con el propósito de contribuir a un estudio de investigación científica que busca ampliar la conciencia humana para mejorar el control de los gases contaminantes, se considera urgente prestar la debida atención a estos contaminantes en el entorno local. Los entes reguladores ya están tomando medidas respecto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), ya que están enfocados en garantizar la calidad del aire y mitigar la contaminación generada por las grandes industrias automotrices.

Por esta razón, se llevará a cabo un estudio y análisis del comportamiento de los gases contaminantes (monóxido de carbono/ hidrocarburos) con un énfasis particular en los NO_x, dado que este gas suele recibir menos atención, tanto en motores de combustión interna como en motores de ciclo Atkinson, presentes en vehículos híbridos. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó un motor 2ZR-FXE de ciclo Atkinson de combustión interna, perteneciente a un vehículo Toyota Prius modelo A 2008. El estudio se realizó en la ciudad de Quito, ubicada a 2850 metros sobre el nivel del mar. Para el análisis de los NO_x y otros gases (CO/HC), se empleó el equipo analizador de gases AGS 688 homologado, el cual cuenta con

un sensor de NO_x, siguiendo las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349 en el inciso 5.1.1.10. Asimismo, se aplicaron las disposiciones de esta normativa para la realización de las pruebas. Con respecto al tiempo y las revoluciones del motor de ciclo Otto, se utilizarán herramientas estadísticas para interpretar los valores numéricos obtenidos en el análisis de datos.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La relevancia y necesidad de esta investigación se destacan en una publicación realizada en abril del, 2023 por una prestigiosa editorial denominada ScienceDirect, esta editorial publico la Investigación realizada por Lancet Countdown Sudamérica, (LCSA) dicha publicación es una colaboración académica independiente que examina la relación entre la salud y el cambio climático en América del Sur. Este esfuerzo conjunto involucró a 21 instituciones académicas y agencias de la ONU, con la participación de 28 investigadores de diversas disciplinas. El informe del LCSA proporciona datos y resultados específicos para los 12 países de la región donde ya se incluye a Ecuador, basados en 25 indicadores clave, y ofrece evidencia para apoyar estrategias de respuesta adaptadas a los responsables de la toma de decisiones, dichas estrategia en la investigación considera que solo Brasil tiene estrategias aplicada, para mitigar el impacto de contaminación en la salud humana, teniendo en cuenta que Chile, Ecuador y Venezuela no participaron en la encuesta de estrategias para mitigar el impacto ambiental. (Hartinger et al., 2023)

Otra publicación relevante es la del diario El Telégrafo, titulada “Este es el país de América Latina en el que más personas mueren por contaminación del aire” El informe indica que la contaminación se convirtió en uno de los principales riesgos para la salud en 2022, y revela que, en 2020, alrededor de 37,000 sudamericanos fallecieron debido a enfermedades relacionadas con la polución, incluyendo cáncer, infartos y problemas respiratorios, lo que representa un aumento de 1,000 muertes en comparación con 2015. Además, señala que Chile registró la cifra más alta, con 230 muertes por cada millón de habitantes, seguido de Perú con 176 fallecimientos debido a la contaminación. (Telégrafo, 2023)

Según la investigación realizada por SinceDirect, llevada a cabo por Torres, Ibarra, Borbor-Córdoba y Romero Álvarez (2023), titulada "Desafíos de salud y clima en Ecuador", se destaca que Ecuador aún no ha incorporado de manera clara y sistemática una perspectiva de salud en la planificación de la adaptación al cambio climático a nivel local. Con el reciente lanzamiento del informe The Lancet Countdown South America 2022, se espera que el informe de políticas de Ecuador llegue pronto a los escritorios de alcaldes, asesores de políticas y concejales responsables de la toma de decisiones y la formulación de políticas (SinceDirect, 2023).

La investigación previamente mencionada es crucial para fomentar una conciencia pública sobre el impacto ambiental derivado de la falta de atención en el control de los gases contaminantes (CO, CO₂, HC y NO_x), generados tanto por los vehículos de combustión interna como por los vehículos híbridos con un motor de ciclo Atkinson. En este estudio, se

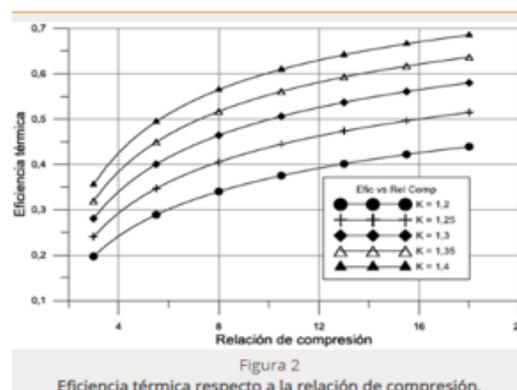
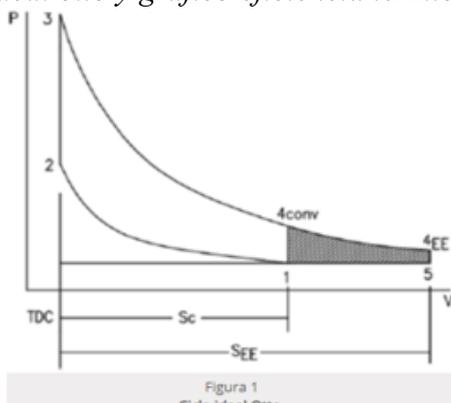
ha abordado específicamente el ciclo Atkinson en vehículos híbridos, para el efecto tenemos una investigación, que se encuentra en el repositorio de la Universidad Internacional del Ecuador en la cual realiza un “ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS MODELO A” (Alexis & Romero, 2015.) en esta tesis lleva a cabo un análisis exhaustivo del motor de combustión interna del vehículo Toyota Prius Modelo A, para desarrollar un manual de estudio que incluya procedimientos precisos y detallados para su aplicación. esto permite tener toda la información necesaria para proceder con el proceso de medición de los gases contaminantes en este tipo de vehículo.

La investigación publicada por la Editorial UIS Ingenierías bajo el título "Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna", se centra en analizar el funcionamiento y la eficiencia del motor de ciclo Atkinson. Según la teoría, este tipo de motor retrasa el cierre de la válvula de admisión más allá de lo que lo hace el ciclo Otto, permitiendo un reflujo de gases hacia el múltiple de admisión y evitando así la autoinflamación de la gasolina.

Para complementar el estudio del ciclo Atkinson, resulta crucial examinar y comprender las diferencias operativas entre un motor que sigue el ciclo Otto y uno que sigue el ciclo Atkinson. Se detalla el ciclo teórico Otto (ideal) y se evalúa la eficiencia térmica en relación con la compresión y los calores específicos, considerando el gas ideal (aire) como el fluido de trabajo en todos los procesos del ciclo. Esto incluye la compresión adiabática (proceso 1-2), el aumento de presión a volumen constante (proceso 2-3), la expansión adiabática (proceso 3-4conv) y la reducción de volumen a presión constante. Se destaca que, en el gráfico lateral izquierdo, correspondiente, la expansión extendida (área sombreada) indica que la presión alcanza valores cercanos a la atmosférica, lo que permite una mejor utilización de la energía del combustible. Por consiguiente, se concluye que, para una misma relación de compresión, el ciclo de Atkinson demuestra ser más eficiente que el ciclo de Otto, gracias a una expansión más completa del fluido de trabajo (Henao-Castañeda et al., 2019).

Gráfico 1.

Ciclo ideal otto y grafico eficiencia térmica



Fuente: Henao-Castañeda, É., Romero-Piedrahíta, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 167–175.

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553762533017/html/#B3>

El estudio revela que, en la actualidad, los ciclos expandidos se utilizan para optimizar el uso del combustible en los motores de combustión interna, lo que conlleva a una mejora en la eficiencia. A pesar de los desafíos iniciales relacionados con su diseño y cinemática, el ciclo de Atkinson ha ganado importancia gracias a la implementación de tecnologías electrónicas y de control. Este tipo de motor destaca especialmente en vehículos híbridos, donde actúa como la principal fuente de energía en condiciones de carga media y baja, que representan la mayoría de las operaciones del motor. (Henaó-Castañeda, Romero-Piedrahita, & Monroy-Jaramillo, 2019)

En el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en Cuenca, se encuentra una investigación de gran relevancia científica. titulada "ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO TOYOTA PRIUS C HYBRID 1.5L EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE CUENCA, PARA DETERMINAR SU IMPACTO" (Alexander et al., 2021), se enfoca en analizar las emisiones contaminantes de un vehículo híbrido en diferentes áreas de la ciudad de Cuenca. Los investigadores examinan el comportamiento de los gases contaminantes en condiciones de ciclos de trabajo específicos para los vehículos híbridos.

En la investigación llevada a cabo en la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), se ha concluido que los vehículos híbridos representan una opción viable para satisfacer las demandas de los consumidores, al mismo tiempo que ofrecen una mayor eficiencia en el consumo de combustible y emiten una cantidad reducida de gases contaminantes. Se sostiene que los motores empleados en estos sistemas generan emisiones contaminantes mínimas. Además, el documento examina diversas características de los vehículos eléctricos (EVs) y las configuraciones de los vehículos híbridos (HEVs). A pesar de seguir empleando motores de combustión interna, estos vehículos se impulsan principalmente mediante un motor eléctrico, lo que elimina la necesidad de baterías de gran tamaño. Por consiguiente, los fabricantes los consideran un paso intermedio entre los vehículos con motor de combustión interna y los vehículos completamente eléctricos (Chele Sancan, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la investigación, se empleó un motor 2ZR-FXE de ciclo Atkinson de combustión interna, el cual forma parte de un vehículo Toyota Prius modelo A del año 2008. En el proceso de medición, se utilizó un equipo de origen italiano de la empresa Brain Bee, el cual cumple con la norma de calidad europea UNE 8251:2004 y también con la norma alemana ISO 9001. Además, “El equipo Brain Bee Mahle AGS-688 es un equipo puede ser usado para garantizar que el vehículo tiene los valores correctos en los gases de escape. Equipo aprobado para RTV en el Ecuador.” (GLOBALTECH ECUADOR)

Tabla 1.

Características técnicas de los materiales

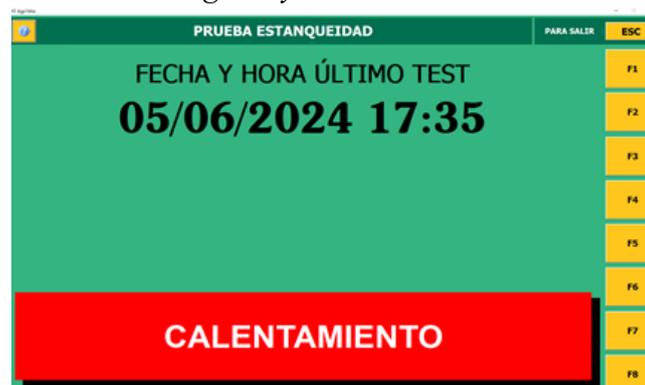
MOTOR Vehículo Híbrido	Marca	Toyota
	Modelo	Prius 1.8 HSD Eco (2007-2012)
	Versión	1.789 LT
	Potencia:	99 CV / 73 kW
	Motor	Atkinson
	Cilindrada	1.798 cm ³
	Relación de compresión	9:1
ANALIZADOR DE GASES	Marca	Brain Bee
	Modelo	AGS688
	Sonda de Nox	Brain Bee

Fuente: Males Richard, basado en (Manual de usuario Toyota), Globaltech, E. (2020).

Gracias a la aplicación en un motor 2ZR-FXE de ciclo Atkinson, se logra una notable versatilidad en la utilización de las gasolinas locales para su funcionamiento. Este motor, al no operar con una relación de compresión excesivamente alta, evita las auto detonaciones, lo que garantiza lecturas de datos objetivas y minimiza las variaciones. Es importante destacar que el equipo de analizador de gases AGS688 utilizado en la investigación está debidamente homologado y calibrado durante el período de desarrollo del estudio. Esta homologación respalda la fiabilidad de los datos obtenidos. Además, mediante una sonda de NOx, este equipo permite analizar este gas en motores de ciclo Otto que utilizan gasolina como combustible. La investigación se llevó a cabo en Quito, ubicada a una altitud de 2850 metros sobre el nivel del mar, esta área, la presión atmosférica alcanza los 72.795 kPa, y la temperatura ambiente promedio es de 300 K (Vincenti, Moscoso, Jácome, Palacios y Villacís, 2020). Esta investigación se desarrolló en tres etapas. La primera etapa, iniciamos el precalentamiento y preparación del equipo Brain Bee para ello es necesario seguir todas las instrucciones ver el Anexo 13.

Gráfico2.

Precalentamiento del Analizador de gases y el Motor del Vehículo



Fuente: Males Richard

En la fase de calentamiento, se necesita realizar una prueba de estanqueidad en el equipo para verificar que el conducto de la sonda esté sellado herméticamente y que esto no afecte la lectura de datos. Para llevar a cabo esta prueba, es necesario seguir las instrucciones que se detallan en el gráfico 2. Una vez completada la prueba, es necesario abrir la entrada de la sonda y luego presionar (ABRA ENTRADA GAS), posterior se debe presionar la tecla F1 para continua

Gráfico 3.

Prueba de estanquidad y Auto calibración del equipo AGS688

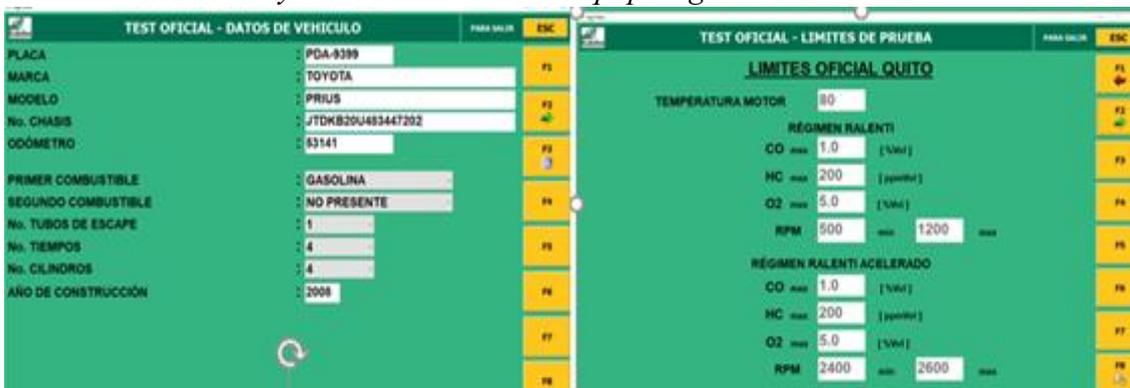


Fuente: Males Richard

Antes de comenzar con las mediciones, se requiere establecer toda la información inicial del vehículo Grafico 4, lateral izquierdo, donde se describe toda la información del vehículo Toyota Prius, una vez colocado toda la información sin descuidar el año del vehículo, se procede a presionar F1, luego se desplaza múltiples y parámetros necesarios a cumplir para proceder a empezar la prueba como se muestra en el grafico 3 lateral derecho, Este procedimiento asegura que las lecturas que se van a testear cumplan con los parámetros iniciales del motor de ciclo Otto, pero en nuestro caso es el del ciclo Atkinson y no se vean afectadas de ninguna manera. Estas son las condiciones necesarias para llevar a cabo las pruebas con el programa del analizador de gases.

Gráfico 4.

Colocación de la sonda y estabilidad de datos Equipo Ags688



Fuente: Males Richard

En la segunda etapa, se procede a poner en un modo de diagnóstico al motor 2ZR-FXE de ciclo Atkinson de combustión interna, el cual forma parte de un vehículo Toyota

Prius modelo A del año 2008, teniendo en cuenta que este modo incorpora el fabricante, con la finalidad de realizar un protocolo de revisión e inspección del motor de combustión interna, este sistema lo que hace es desactivar el modo Star-Stop, manteniendo el motor encendido hasta que se lo retire de esta condición mediante la pulsación nuevamente del botón start/stop para lo cual es necesario ver el Anexo 1, en el cual se adjunta un hipervínculo con los pasos a desarrollar, una vez insertado en este modo se observara en la pantalla principal del vehículo como se lo muestra el gráfico 5.

Gráfico 5.

Ingreso del modo de mantenimiento.



Fuente: Males Richard

En la tercera etapa del estudio, se lleva a cabo la recolección de datos mediante la realización de 20 mediciones utilizando gasolina extra y 20 mediciones utilizando gasolina super, dado un total de 40 mediciones cada medición se llevó a cabo en un intervalo de 20 segundos, para el efecto de las mediciones, se desarrolló en base a las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349, como se muestra en el Gráfico 6. Es importante señalar que el equipo analizador de gases utilizado está ajustado para cumplir con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204, referente a la gestión ambiental del aire en vehículos automotores y los límites permitidos de emisiones generadas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina, y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207, que establece los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan Diesel. Cabe mencionar que al estar el equipo calibrado necesitamos acoger nos a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349 y 2204, para el proceso de medición ya que, la modificatoria 2 (2017-11.29) de RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES” (RTE INEN 017 Modificatoria, 2017), en la página 2, numeral 2, inciso 2.3 afirma que, el presente reglamento no aplica a Vehículos híbridos cuya energía motriz no provenga de combustible de origen fósil, por consiguiente estos vehículos híbridos de la configuración que sea, no son sometidos a un control de gases contaminantes en Ecuador.

Gráfico 6.

Instalación de equipos para el proceso de medición



Fuente: Males Richard

Todos los datos obtenidos en la etapa dos y tres, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), Anexo 38-39, con la finalidad de obtener un sustento cuantitativo de la investigación, el procedimiento a detalle de cada etapa se encuentra en el Anexo 14-19.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el marco del desarrollo de la investigación en su tercera fase, se llevaron a cabo mediciones de manera cíclica con intervalos de 20 segundos para cada prueba. Inicialmente, se realizaron mediciones a 2500 RPM y posteriormente a ralentí, obteniendo un promedio general de 20 pruebas utilizando gasolina extra. Es esencial destacar que el procedimiento para obtener los datos con gasolina súper fue idéntico. El objeto de estudio principal en esta investigación son los óxidos de nitrógeno (NOx). Con este propósito en mente, se optó por combinar los datos de la prueba dinámica a 2500 RPM tanto con gasolina súper como extra, los cuales se presentan detalladamente en la Tabla 2. Esta tabla muestra los promedios de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂), el factor lambda [-], y específicamente, los óxidos de nitrógeno (NOx), junto con la temperatura correspondiente para facilitar la interpretación de su comportamiento en relación con la generación de diferentes gases.

Todos los datos recolectados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, con el fin de validar estadísticamente las variaciones observadas. Para obtener información más detallada, se puede consultar el Anexo 38-39.

Tabla 2

Promedios de prueba dinámica a 2500 RPM con gasolina extra, y super.

Tipo de Gas	Gasolina extra	Gasolina super	ANOVA	
			F	F. crítico
CO (%)	0,011	0,008	0,648	4,413
CO ₂ (%)	14,74	14,67	0,343	4,413
HC [ppm]	9,6	6,8	5,512	4,413
O ₂ (%)	0,427	1,133	88,30	4,413
Lambda (-)	1,0272	1,0218	0,186	4,413
NO _x [ppmvol]	92,7	52,1	178,9	4,413
Temperatura	97,3	92	17,070	4,413

Fuente: Males Richard

El análisis de la Tabla 2, según el modelo estadístico ANOVA, revela que los promedios de monóxido de carbono (CO) con gasolina extra y super son muy similares, 0,0011% y 0,008% respectivamente. Por consiguiente, según el modelo estadístico con un F crítico de 4,413 y un factor F de 0,648, se concluye que el cambio generado es irrelevante, aceptándose así la hipótesis nula. Lo mismo ocurre con el dióxido de carbono (CO₂), donde el análisis de varianza muestra un factor F de 0,343 y un F crítico de 4,413, lo que indica que el cambio es también irrelevante respecto a este gas y se acoge la hipótesis nula.

En contraste, los hidrocarburos (HC) muestran una diferencia significativa: con gasolina extra tienen un promedio de 9,6 ppm, mientras que con gasolina super se reduce a 6,8 ppm. El modelo estadístico ANOVA reporta un factor F de 5,512 y un F crítico de 4,413, lo cual rechaza la hipótesis nula y confirma que el cambio es relevante, con una menor generación de HC al utilizar gasolina super. Esta tendencia se confirma al analizar los promedios de oxígeno: con gasolina extra se obtiene 0,427% y con gasolina super 1,133%. El modelo estadístico ANOVA muestra un factor F de 88,30 y un F crítico de 4,413, indicando un cambio significativo, Esto implica que al utilizar gasolina extra disminuye la presencia de oxígeno y aumenta los hidrocarburos no combustionados, en el caso del del Factor Lambda, los promedios son similares: con gasolina extra-1,0272 y con gasolina super 1,0218. Al aplicar el ANOVA, el factor F es 0,186, inferior a su F crítico de 4,413, lo que confirma la hipótesis nula y establece que el cambio es irrelevante. Es esencial analizar estos resultados, especialmente los promedios de óxidos nitrosos (NO_x): con gasolina extra son 92,7 ppmVol y con gasolina super son 52,1 ppmVol. Según el modelo estadístico ANOVA, estos promedios muestran cambios significativos, con un factor F de 178,9 y un F crítico de 4,413,

lo cual rechaza la hipótesis nula y confirma que el cambio es significativo, con menos NOx al utilizar gasolina super.

El equipo de análisis de gases, Brain Bee Mahle AGS-688, permite evaluar la temperatura del aceite del motor, medida a través de una sonda en lugar de la bayoneta de medir el aceite. El promedio de temperatura con gasolina extra es de 97,3°C, mientras que con gasolina super es de 52,1°C. Al aplicar el ANOVA, el factor F es de 17,070 y el F crítico es de 4,413, indicando un cambio significativo. Esta temperatura, fundamental para comprender el fenómeno de los NOx, es crucial en la generación de óxidos de nitrógeno (NOx) en motores de ciclo Atkinson, donde la combinación de altas temperaturas, hidrocarburos significativos y gasolina de bajo octanaje desempeña un papel crucial en su formación. Este fenómeno, ampliamente documentado en la literatura científica, subraya la importancia de abordar estas emisiones para mejorar la eficiencia ambiental de los motores, siendo el enfoque central de la investigación desarrollada.

Continuando con el desarrollo de la investigación para la realización de la prueba estática a ralentí a 750 RPM, se elaboró la Tabla 3 que contempla los resultados obtenidos tanto con gasolina extra como con gasolina súper. En dicha tabla se han registrado los promedios de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2), hidrocarburos (HC), oxígeno (O2), el factor lambda [-], y se centró especialmente en los óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales constituyen el foco principal de estudio. Además, se incluyó la temperatura correspondiente en cada caso. Todos los datos recolectados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, con el propósito de analizar las variaciones tanto positivas como negativas observadas en la producción de cada gas y establecer relaciones significativas con el fenómeno investigado en estas pruebas.

Tabla 3.

Promedios de la prueba estática-ralentí, con gasolina extra, y super.

Tipo de Gas	Gasolina extra	Gasolina super	ANOVA	
			F	F. crítico
CO (%)	0,03	0,006	2,211	4,413
CO2 (%)	14,77	14,89	3,160	4,413
HC [ppm]	9,3	6,4	9,402	4,413
O2 (%)	0,604	0,258	12,808	4,413
Lambda (-)	1,0188	1,0059	9,747	4,413
NOx [ppmvol]	30,2	22,2	10,374	4,413
Temperatura	96,8	91,1	25,537	4,413

Fuente: Males Richard

En el análisis de la prueba de ralenti, se observa que el monóxido de carbono (CO) presenta un promedio de 0,03% con gasolina extra y 0,006% con gasolina super. Según el modelo estadístico ANOVA, con un F de 2,11 y un F crítico de 4,413, se concluye que este cambio es irrelevante y se acoge la hipótesis nula. De manera similar, para el dióxido de carbono (CO₂), los promedios son de 14,77% y 14,89% respectivamente, con un F de 3,160 y un F crítico de 4,413, indicando que el cambio no es significativo y se acoge la hipótesis nula. En contraste, los hidrocarburos no combustionados (HC) muestran diferencias significativas con un promedio de 9,3 ppm para gasolina extra y 6,4 ppm para gasolina super, validado por un F de 9,402 frente a un F crítico de 4,413. Esto indica una reducción significativa en la generación de HC con gasolina super, rechazando la hipótesis nula. La concentración de oxígeno también varía notablemente con un promedio de 0,604% para gasolina extra y 0,258% para gasolina super, donde un F de 12,808 supera el F crítico de 4,413, rechazando la hipótesis nula y confirmando una menor presencia de oxígeno con gasolina super. El análisis del Factor Lambda refleja cambios significativos con valores de 1,0188 para gasolina extra y 1,0059 para gasolina super, con un F de 9,747 frente a un F crítico de 4,413, indicando una mejora en la mezcla y combustión con gasolina super.

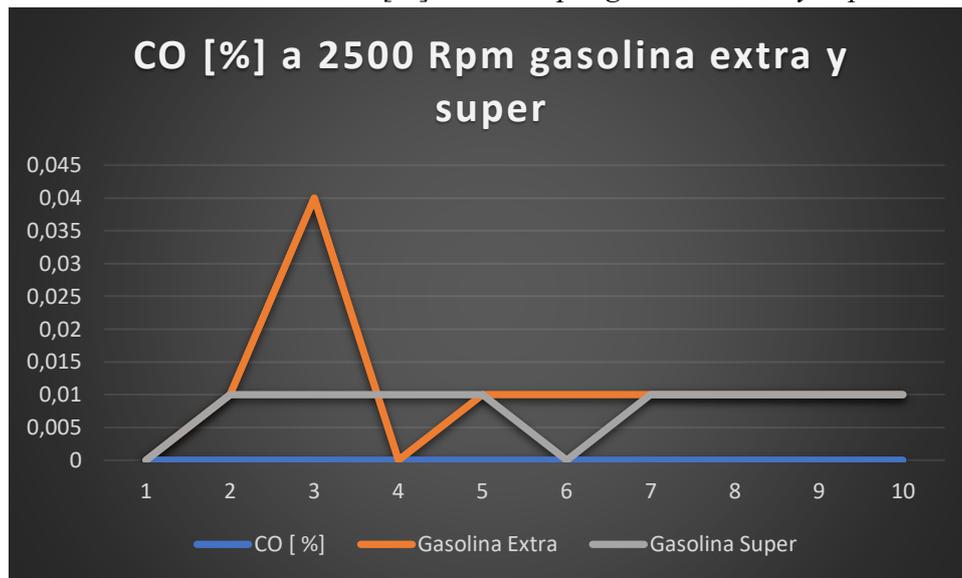
Los óxidos de nitrógeno (NO_x) muestran reducciones significativas con un promedio de 30,2 ppmVol para gasolina extra y 22,2 ppmVol para gasolina super, con un F de 10,374 frente a un F crítico de 4,413, confirmando que el cambio es significativo y rechazando la hipótesis nula. La temperatura también exhibe variaciones, con 96,8°C para gasolina extra y 91,1°C para gasolina super, validadas por un F de 10,374 frente a un F crítico de 4,413, subrayando la influencia crítica de la temperatura junto con los HC no combustionados en la generación de NO_x. Estos resultados resaltan la importancia del tipo de combustible y las condiciones operativas en las emisiones de gases contaminantes, específicamente en la reducción de NO_x, lo cual es crucial para mejorar la eficiencia ambiental de los motores de ciclo Atkinson.

Análisis de gases

Para el desarrollo del análisis de los óxidos nitrosos (NO_x) en los motores de ciclo Atkinson, es imprescindible examinar los gases monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). De igual forma se deben considerar también el factor lambda y la temperatura, dado que esta última desempeña un papel crucial en el análisis investigativo. El análisis del monóxido de carbono (CO), presentado en la gráfica 7, revela que este gas muestra valores prácticamente idénticos tanto con gasolina extra como super, sin evidenciar cambios significativos. Los niveles observados están considerablemente por debajo de los límites máximos estipulados por la norma NTE INEN 2204. Este resultado indica que el proceso catalítico del vehículo está funcionando óptimamente, asegurando que los datos recopilados no sean influenciados por fallos en el sistema catalítico del vehículo de prueba. Este hallazgo contribuye significativamente a la fiabilidad de los datos obtenidos para la investigación.

Gráfico 7.

Gráfica del monóxido de carbono CO [%] a 2500 Rpm gasolina extra y super



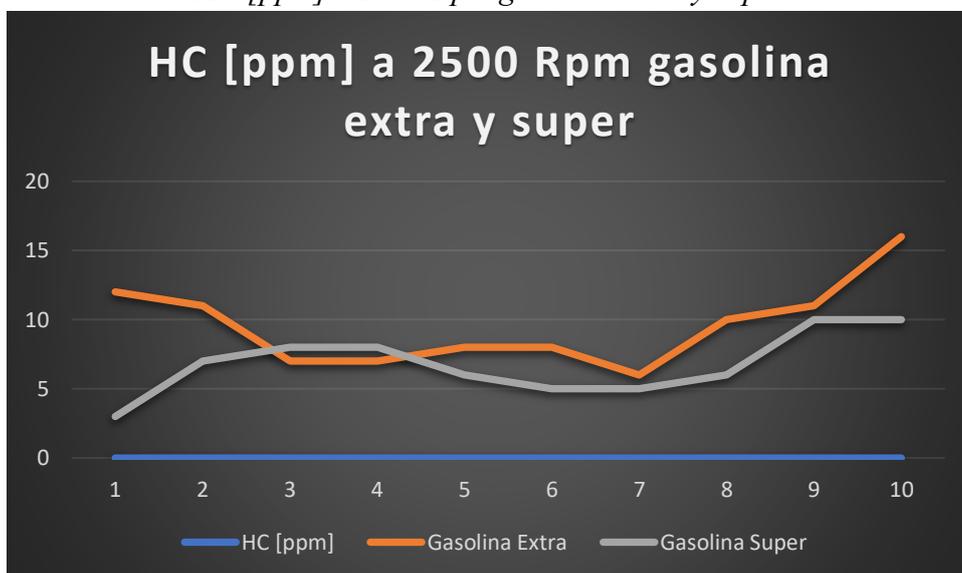
Fuente: Males Richard

En el caso de los hidrocarburos (HC), se presenta la gráfica 8 donde se observa que la línea de color naranja, que representa los datos obtenidos con gasolina extra, muestra niveles más altos en comparación con la línea gris correspondiente a las pruebas con gasolina super. Este resultado indica que el uso de gasolina extra conlleva a una mayor generación de hidrocarburos en el motor de ciclo Atkinson, con una tendencia al aumento.

Es crucial enfocar la atención en los gases contaminantes emitidos por estos motores, con el objetivo de contribuir a la protección del medio ambiente y la salud de los seres vivos.

Gráfico 8.

Gráfica de datos de los HC [ppm] a 2500 Rpm gasolina extra y super.



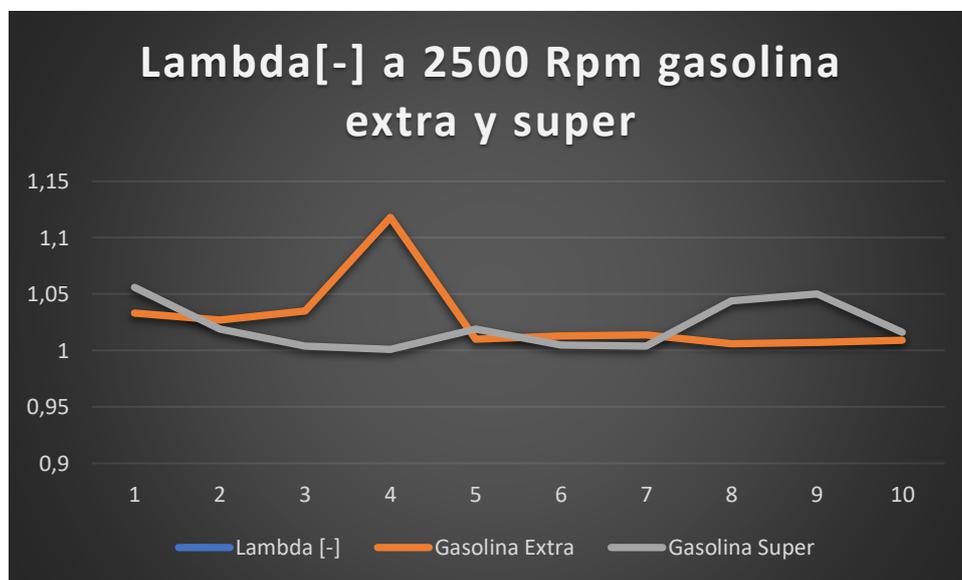
Fuente: Males Richard

Continuando con el análisis, el Factor Lambda representado en el gráfico 9 proporciona información crucial sobre la mezcla de combustible en el vehículo. La línea de color naranja muestra que en la prueba 4 se observa un incremento significativo alcanzando un valor de 1,118 para la gasolina extra. Este aumento indica una mezcla pobre, caracterizada por un uso insuficiente de combustible ideal para el motor de ciclo Atkinson en ese momento específico. Este hallazgo sugiere que el uso de combustible de bajo octanaje puede provocar autoencendidos, impactando negativamente la combustión dentro del cilindro y generando un aumento de temperatura en la cabeza del pistón, la cual se refrigera con la mezcla aire-combustible. Si analizamos en la prueba 5, la unidad de control electrónico del vehículo ajusta los parámetros, reduciendo el Factor Lambda a 1,010. Este ajuste implica una mayor entrada de combustible para lograr una combustión óptima.

Es claro que el tipo de combustible juega un papel crucial en la generación de gases contaminantes, particularmente los óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales se van a tratar a continuación,

Gráfico 9.

Gráfica de datos del factor Lambda [-] a 2500 Rpm gasolina extra y super



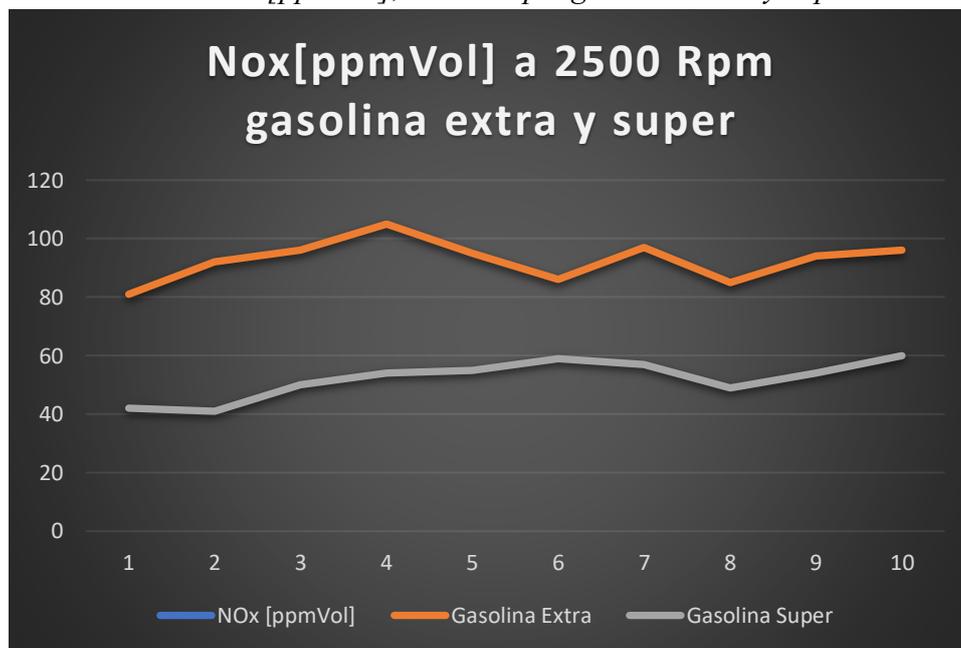
Fuente: Males Richard

El objetivo de la investigación los óxidos nitros NOx, los cuales cual en nuestro país Ecuador no se lo presta la debida atención necesaria, con normativas aplicables a nuestro medio, es así que a continuación en la Gráfica 10, se presenta el comportamiento de este gas en las 10 pruebas que se llevaron acabó en la investigación científica, si analizamos el gráfico podemos observar que la línea de color naranja la cual representa a los datos con la gasolina extra , empieza en 81ppmVol, luego tiene una tendencia de crecimiento la cual tiene un pico máximo en la prueba cuatro de 105 ppmVol, de esta manera corroboramos lo que se analizó en el grafico 8 en la prueba 4, que al momento de tener mezclas pobres se incrementa la temperatura de la cabeza del pistón y esto ocasiona incrementos de temperatura del cilindro y así, reafirmamos lo que La literatura científica sostiene que la formación de óxidos nitrosos

(NOx) está directamente correlacionada con las altas temperaturas alcanzadas dentro del cilindro durante el proceso de combustión, si continuamos con el análisis, podemos observar que en las siguientes pruebas 5 y 6, tiende un ligero descenso de los NOx, por la hipótesis planteada anteriormente menciona que la unidad de control electrónico reajusta parámetros y corrige esa mezcla pobre, es por ello que en las pruebas 7-10, se tiene picos y descensos con tendencia de crecimiento, esto en cambio no sucede cuando se utilizó la gasolina super la cual está representada por la línea de color gris y se puede apreciar que en la primera prueba se tiene 42ppmVol de NOx, y va en incremento hasta llegar a las 60ppmVol, la gráfica es mucho más estable y con valores inferiores al utilizar gasolina extra, por con siguiente se determina que la gasolina super contribuye a una disminución de óxidos nitrosos NOx, en este motor de ciclo Atkinson, cabe mencionar que dicha disminución está respaldada por el modelo estadístico análisis de varianza ANOVA. Ver ANEXO 38-39

Gráfico 10.

Grafica de datos de los NOX [ppmVol], a 2500 Rpm gasolina extra y super



Fuente: Males Richard

Para finalizar el análisis de los óxidos nitrosos generados a 2500 RPM, se presenta el Gráfico 11 que muestra las temperaturas medidas mediante el equipo BRAIN BEE. En este gráfico, la barra azul representa la temperatura con gasolina extra, mientras que la barra naranja representa la temperatura con gasolina super. Se observa que la temperatura con gasolina extra comienza en 93°C y aumenta a medida que avanzan las pruebas, alcanzando un pico de 99°C en la prueba 6 y 100°C en la prueba 10. Estos resultados confirman el análisis anterior, ya que la temperatura es más alta cuando se utiliza gasolina extra en comparación con la gasolina super.

Gráfico 11.

Grafica de las Temperaturas a 2500 Rpm gasolina extra y super.



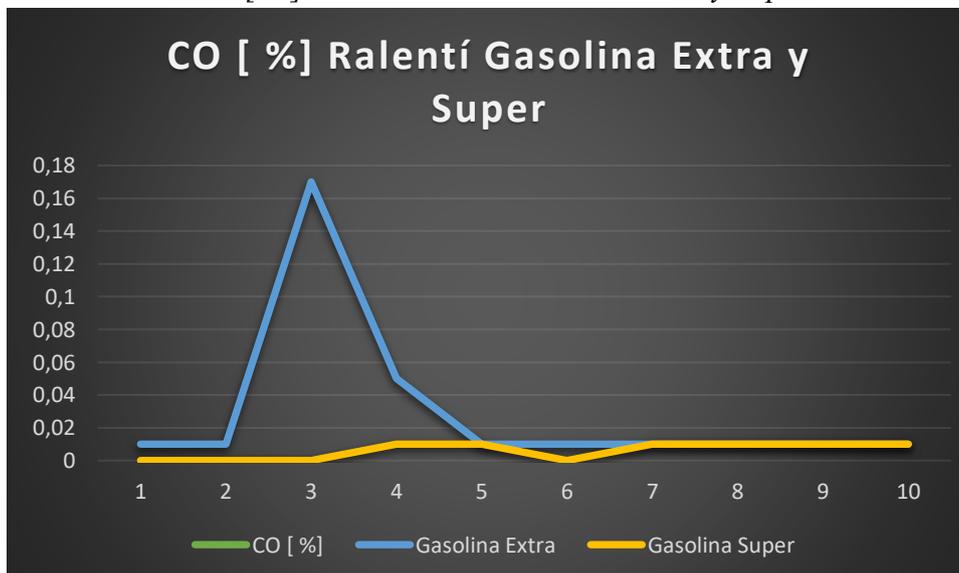
Fuente: Males Richard

Continuando con el análisis, a continuación, se presentan los datos desarrollados en la prueba estática, para el efecto se ha unido tanto los datos de la gasolina super y extra, con la finalidad de que estos datos sean analizados en conjunto.

En la gráfica 12 se presenta al monóxido de carbono este gas al igual que en la prueba dinámica no presenta ningún cambio significativo de igual manera reafirma que el proceso catalítico del vehículo está funcionando óptimamente, asegurando que los datos recopilados no sean influenciados por fallos en el sistema catalítico del vehículo de prueba.

Gráfico 12.

Grafica de los datos de CO [%] en Ralentí con Gasolina Extra y Super

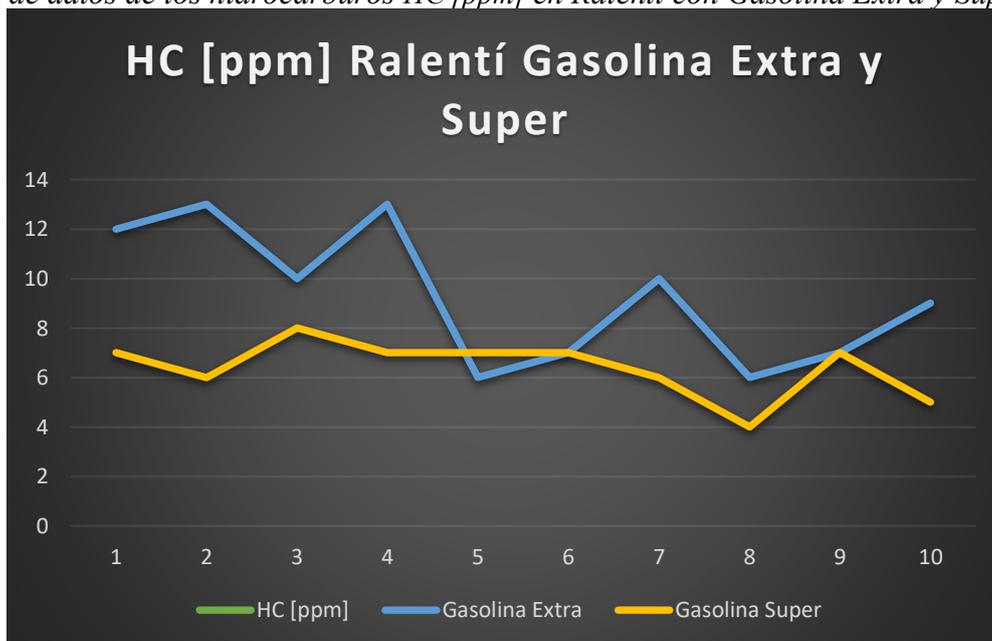


Fuente: Males Richard

En el caso de los hidrocarburos si presenta cambio significativos, y estos se presentan en el Grafico 13, la (línea de color azul)l representa la gasolina extra, es así que se puede observar que empieza con 12ppm y esta tiene un pico máximo en la prueba 4, la cual se correlaciona con lo acontecido en la prueba 4 a 2500 Rpm, teniendo en cuenta que estas dos pruebas en el desarrollo de la investigación y en el proceso de medición son una sola ya que el equipo de análisis de gases Brain Bee, primero pide llevar el vehículo 2500 rpm, por 30 segundo y posterior se deja la aceleración para mantener el vehículo en marcha mínima por el mismo lapso de tiempo, es por ello que ese reajuste de parámetro se ve reflejado en la prueba de marcha mínima con un pico de generación máxima de 13ppm, la generación de este gas con este tipo de gasolina es completamente inestable tiende a subir y bajar.

Gráfico 13.

Grafica de datos de los hidrocarburos HC [ppm] en Ralentí con Gasolina Extra y Super

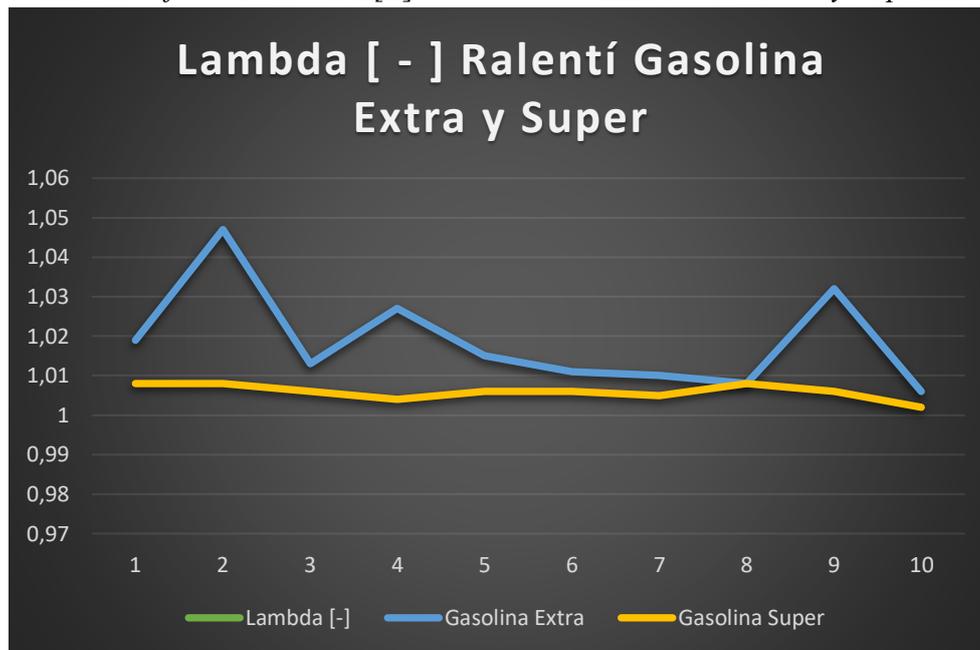


Fuente: Males Richard

En cuanto al análisis del factor Lambda a continuación presentamos la gráfica 14, en la cual se muestra el comportamiento de este factor con la gasolina extra (representada por la línea de color azul) mientras que la (línea amarilla) representa el comportamiento de este factor con gasolina super, el factor con gasolina extra en la prueba unos es de 1,019, mientras que en la gasolina super es de 1,008, esto nos da a entender que al utilizar gasolina super tenemos una mejor mezcla aproximándonos a la ideal, y si analizamos lo que sucede en la prueba 2-4-9 con la gasolina extra podemos determinar que tenemos mezclas pobre y por consiguiente picos de temperaturas lo que conlleva a una mayor generación de NOx, como hallazgo de la investigación podemos determinar que al utilizar gasolina super en este motor de ciclo Atkinson el factor lambda se comporta mucho más estable y con una tendencia de aproximación a uno mezcla ideal. Cabe mencionar que este cambio está sustentado por el análisis de varianza ANOVA

Gráfico 14.

Grafica de datos del factor, Lambda [-], en Ralentí con Gasolina Extra y Super



Fuente: Males Richard

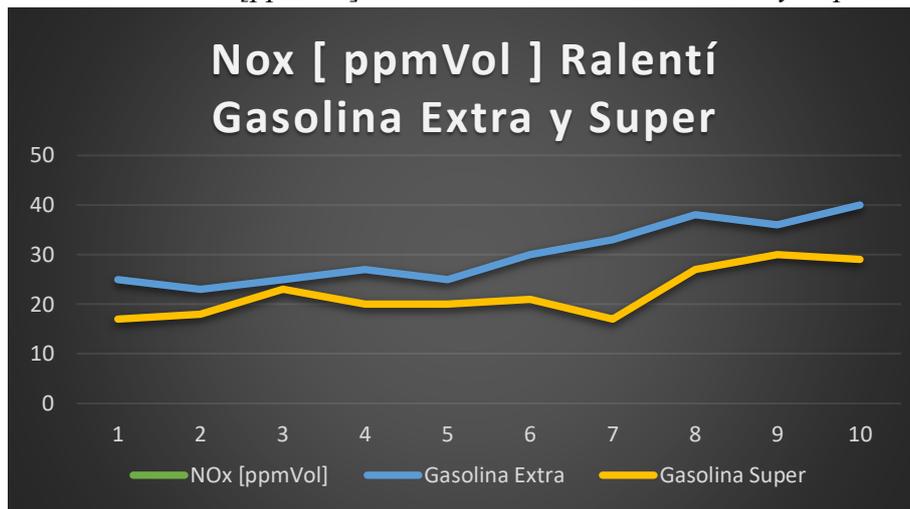
Continuando con el desarrollo de la investigación, se procede al análisis del comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx) durante la prueba de ralentí. El Gráfico 15 muestra la evolución de los NOx, donde la línea azul corresponde al uso de gasolina extra. Se observa que la generación de NOx comenzó en la prueba 1 con 25 ppmVol y mostró una tendencia creciente a lo largo de las pruebas, alcanzando un máximo de 40 ppmVol en la prueba 10. Relacionando estos resultados con el Gráfico 14, se determina que el factor Lambda indica una mezcla pobre en todas las pruebas, lo cual se refleja en la generación de NOx a consecuencia del incremento de la temperatura dentro del cilindro.

Por otro lado, al analizar el comportamiento de los NOx con gasolina Super (representada por la línea amarilla), se observa que el factor Lambda promedia 1.0059, con una tendencia hacia uno (mezcla teóricamente ideal). Esto se refleja en la generación de NOx, que comenzó en 17 ppmVol en la prueba uno alcanzó un pico máximo de 30 ppmVol en la prueba 9, estos valores están por debajo de los valores de Nox, generados al utilizar gasolina extra.

Estos resultados evidencian que los motores de ciclo Atkinson generan NOx, cuya producción está directamente influenciada por el tipo de combustible utilizado. Para corroborar lo mencionado anteriormente, se procede al análisis del comportamiento de la temperatura en cada una de las pruebas realizadas en ralentí

Gráfico 15

Grafica de datos de los NOX [ppmVol], en Ralentí con Gasolina Extra y Super



Fuente: Males Richard

Para finalizar la investigación, se presenta el Gráfico 16, donde la barra azul representa la temperatura medida por el equipo de análisis de gases Brain Bee. En dicho gráfico se confirma que, al utilizar gasolina extra, los óxidos nitrosos están influenciados por la temperatura. Se observa que en las pruebas 9 y 10, la temperatura alcanza su punto máximo de 99°C, coincidiendo con los resultados de la gráfica anterior donde también se registró el máximo de temperatura en estas mismas pruebas. Además, al analizar la temperatura representada por la barra de color naranja, que corresponde a los NOx al utilizar gasolina super, se observa que la temperatura ha disminuido, reflejando así una reducción en los NOx según la gráfica 15.

En conclusión, la investigación establece que los motores de ciclo Atkinson generan óxidos nitrosos (NOx), destacando la importancia de prestar atención adecuada a estos vehículos equipados con este tipo de motor. En Ecuador, los vehículos híbridos actualmente no están sujetos a análisis de gases, por lo que es fundamental desarrollar un modelo de regularización que aborde específicamente las emisiones de gases, especialmente los óxidos nitrosos (NOx).

Gráfico 16

Grafica de datos de la temperatura (°C), en Ralentí con Gasolina Extra y Super



Fuente: Males Richard

La variación de temperatura entre el uso de Gasolina Extra y Súper en ralentí es evidente y significativa. La Gasolina Súper permite una operación del motor a temperaturas más bajas en comparación con la Gasolina Extra, lo cual puede tener implicaciones importantes para la temperatura de funcionamiento y durabilidad del motor. Estas diferencias deben considerarse al elegir el tipo de combustible.

5. CONCLUSIONES

El enfoque experimental desarrollado, junto con el análisis de varianza ANOVA, ha permitido evaluar la relevancia de los cambios inducidos de los óxidos nitrosos (NO_x), medidos conforme a la norma INEN 2349, en el desarrollo de la investigación. Aunque el foco principal fue en los NO_x, se encontró necesario analizar también los datos de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), el factor lambda y la temperatura, debido a su significativa influencia en el comportamiento de los NO_x.

Estos hallazgos de la investigación contribuyen de manera experimental y científica para futuras investigaciones en este campo. Se sugiere profundizar en estudios que exploren las interacciones entre estos contaminantes atmosféricos y otros parámetros de rendimiento del motor de ciclo Atkinson, así como desarrollar metodologías, técnico experimenta más precisas para la medición, con una finalidad de desarrollo y regulación de las emisiones de gases en vehículos híbridos equipados con motorización de ciclo Atkinson. Esto es crucial dada la relevancia ambiental y las regularizaciones de los óxidos nitrosos (NO_x) en contextos con nuestro país Ecuador, donde actualmente no se realizan análisis exhaustivos de gases en este tipo de vehículos, ya que por normativa los vehículos híbridos quedan excluidos.

La investigación evidenció, en primera instancia, que el vehículo utilizado tenía su proceso catalítico en condiciones óptimas de funcionamiento, lo cual asegura una precisión elevada en la toma de datos. Este hallazgo subraya que los motores de ciclo Atkinson generan óxidos nitrosos en cantidades significativamente mayores al utilizar gasolina extra en comparación con gasolina super. Estos resultados motivan análisis y futuras investigaciones en este campo, especialmente considerando que la temperatura desempeña un papel fundamental en la generación de los NO_x. Por lo tanto, un hallazgo clave de esta investigación es estudiar el comportamiento de la temperatura en la cámara de combustión dentro del cilindro y su relación con la producción de gases contaminantes, especialmente los óxidos nitrosos (NO_x).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chavez, P. I. I. (s/f). Procedimiento de Modo Mantenimiento en Vehículo Híbrido. Taaet. Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://www.taaet.com.app.exur.com/news-taaet-blog/modo-mantenimiento-vehiculo-hibrido-toyota>

RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES” Modificatoria. (2017). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/M2-RTE-017.pdf>

Gerardo, L., Vela, S., De Jesús, M., Gallegos, F., Flores, O., José, C., Hernández, R., David, J., Vega, V., Eliseo, M., & Acevedo, C. (2019). REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive.
<https://archive.org/details/ec.nte.2349.2003/page/n5/mode/2up?view=theate>

Hartinger, S. M., Yglesias-González, M., Blanco-Villafuerte, L., Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Stewart-Ibarra, A., Rojas-Rueda, D., Melo, O., Takahashi, B., Buss, D., Callaghan, M., Chesini, F., Flores, E. C., Gil Posse, C., Gouveia, N., Jankin, S., Miranda-Chacon, Z., Mohajeri, N., Helo, J., & Ortiz, L. (2023). The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. *The Lancet Regional Health - Americas*, 20, 100470.
<https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470>

Telégrafo, E. (2023, April 3). Este es el país de América Latina en el que más personas mueren por contaminación del aire. *El Telégrafo*.
<https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/mundo/8/este-es-el-pais-de-america-latina-en-el-que-mas-personas-mueren-por-contaminacion-del-aire>

Torres, I., Stewart-Ibarra, A., Borbor-Cordova, M., & Romero-Alvarez, D. (2023). Health and climate challenges in Ecuador. *the Lancet Regional Health. Americas*, 22, 100501–100501. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100501>

Alexis, M., & Romero, M. (2015). UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS MODELO A TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ. Retrieved March 21, 2024, from <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/829/1/T-UIDE-05.pdf>

Henao-Castañeda, E., Romero-Piedrahita, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 167–176. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019016>

Henao-Castañeda, É., Romero-Piedrahíta, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 167–175

Alexander, D., Pallarozo, S., Carlos, J., Arias, C., Adrián Xavier, I., & Reinoso, S. (2021). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ANÁLISIS DE LA EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO TOYOTA PRIUS C HYBRID 1.5L EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE CUENCA, PARA DETERMINAR SU IMPACTO. Retrieved March 21, 2024, from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21163/1/UPS-CT009295.pdf>

Chele Sancan, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los

motores de combustión interna. INNOVA Research Journal, 2(12), 1–10.
<https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.527>

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

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. <https://archive.org/details/ec.nte.2349.200>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2204: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive <https://ia902909.us.archive.org/12/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). NTE INEN 2207: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive.

<https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2207.pdf>

Para ingresar en el modo de mantenimiento del vehículo híbrido Prius, es necesario desarrollar cada uno de los pasos que se encuentran en el hipervínculo.

<https://www.taet.com.app.exur.com/news-taet-blog/modo-mantenimiento-vehiculo-hibrido-toyota>

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo general

Analizar la variación de NOx en los motores de ciclo Atkinson aplicados a vehículos híbridos.

Objetivos Específicos

- Medir valores de NOx del motor de ciclo Atkinson aplicados a vehículos híbridos., mediante la normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349.
- Observar la variación de gases del motor de ciclo Atkinson en las pruebas cíclicas 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, y los gases del motor de ciclo Atkinson, aplicando herramientas estadísticas.

Preguntas de investigación

¿Cuál es la variación de NOx en los motores de ciclo Atkinson aplicados a vehículos híbridos?

¿Qué valores se puede obtener en la medición de gases enfocados en los NOx?

¿Cómo se puede observar la variación de los gases del motor de ciclo Atkinson en las pruebas cíclicas?

¿Qué herramienta estadística permite interpretar los valores obtenidos en las mediciones?

Fundamentación del problema (Importancia y Justificación)

Los motores de ciclo Atkinson, ampliamente utilizados en vehículos híbridos, son conocidos por su eficiencia energética superior y sus menores emisiones de CO₂ en comparación con los motores de ciclo Otto convencionales. Sin embargo, un aspecto crítico que requiere mayor atención es la variación en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), gases que contribuyen significativamente a la contaminación del aire y tienen efectos adversos en la salud pública y el medio ambiente.

La formación de NOx en los motores de ciclo Atkinson es influenciada por varios factores, incluyendo la temperatura de combustión, la relación aire-combustible, y el tiempo de permanencia de los gases en la cámara de combustión. Dado que los vehículos híbridos operan en condiciones variadas debido a la combinación de un motor de combustión interna y un motor eléctrico, es crucial entender cómo estas condiciones afectan la producción de NOx.

Además, las regulaciones ambientales están imponiendo límites cada vez más estrictos sobre las emisiones de NO_x, lo que hace imprescindible desarrollar estrategias eficaces de mitigación. Analizar la variación de NO_x en motores de ciclo Atkinson aplicados a vehículos híbridos no solo proporcionará una comprensión más profunda de los mecanismos de formación de NO_x, sino que también contribuirá al diseño de tecnologías de control de emisiones más efectivas.

Posibles hipótesis

Los motores de ciclo Atkinson en vehículos híbridos generan variaciones significativas en las emisiones de NO_x debido a las fluctuaciones en las condiciones de operación, como la carga del motor, la temperatura de combustión, y la relación aire-combustible. Específicamente, se espera que las emisiones de NO_x sean menores durante los modos de operación eléctrica y de baja carga del motor, y mayores durante las fases de alta carga y aceleración donde la combustión es más intensa y las temperaturas son más elevadas. La implementación de estrategias de control adaptativo y tecnologías de postratamiento de gases de escape, como los convertidores catalíticos, puede mitigar estas variaciones y reducir las emisiones de NO_x a niveles aceptables.

Anexo 1

Chavez, P. I. I. (s/f). Procedimiento de Modo Mantenimiento en Vehículo Híbrido. Taaet. Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://www.taaet.com.app.exur.com/news-taaet-blog/modo-mantenimiento-vehiculo-hibrido-toyota>

Anexo 2

RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES” Modificatoria. (2017). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/M2-RTE-017.pdf>

Anexo 3

Gerardo, L., Vela, S., De Jesús, M., Gallegos, F., Flores, O., José, C., Hernández, R., David, J., Vega, V., Eliseo, M., & Acevedo, C. (2019). REVISIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE LÍMITES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA.

Anexo 4

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. <https://archive.org/details/ec.nte.2349.2003/page/n5/mode/2up?view=theate>

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 5

Hartinger, S. M., Yglesias-González, M., Blanco-Villafuerte, L., Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Stewart-Ibarra, A., Rojas-Rueda, D., Melo, O., Takahashi, B., Buss, D., Callaghan, M., Chesini, F., Flores, E. C., Gil Posse, C., Gouveia, N., Jankin, S., Miranda-Chacon, Z., Mohajeri, N., Helo, J., & Ortiz, L. (2023). The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. *The Lancet Regional Health - Americas*, 20, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470>

Anexo 6

Telégrafo, E. (2023, April 3). Este es el país de América Latina en el que más personas mueren por contaminación del aire. *El Telégrafo*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/mundo/8/este-es-el-pais-de-america-latina-en-el-que-mas-personas-mueren-por-contaminacion-del-aire>

Anexo 7

Torres, I., Stewart-Ibarra, A., Borbor-Cordova, M., & Romero-Alvarez, D. (2023). Health and climate challenges in Ecuador. *the Lancet Regional Health. Americas*, 22, 100501–100501. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100501>

Anexo 8

Alexis, M., & Romero, M. (2015). UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS MODELO A TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ. Retrieved March 21, 2024, from <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/829/1/T-UIDE-05.pdf>

Anexo 9

Henao-Castañeda, E., Romero-Piedrahita, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2019). Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 167–176. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019016>

Anexo 10

Alexander, D., Pallarozo, S., Carlos, J., Arias, C., Adrián Xavier, I., & Reinoso, S. (2021). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ PRESENTACIÓN TEMA: ANÁLISIS DE LA EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO TOYOTA PRIUS C HYBRID 1.5L EN RUTAS ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE CUENCA, PARA DETERMINAR SU IMPACTO. Retrieved March 21, 2024, from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21163/1/UPS-CT009295.pdf>

Anexo 11

Chele Sancan, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. *INNOVA Research Journal*, 2(12), 1–10. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.527>

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología aplicada

Para la presente investigación a desarrollarse se utilizará:

Método Cuantitativo. Dicho método según la afirmación de Sampieri menciona que al “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

Para lo cual se llevará a cabo un método experimental, este método permitirá recolectar datos mediante una sonda de NOx, mediante un equipo homologado siendo este Brain Bee Mahle AGS-688, dichos datos serán sometidos a un análisis estadístico, este análisis se lo realizara con el método de varianza conocido como el ANOVA, este permite saber si tal hipótesis plantada es nula o alternativa, para mejorar el entendimiento. Un análisis de varianza (ANOVA) permite probar una hipótesis plantada.

Para la investigación se tomaran 10 pruebas en tres vehículos híbridos con un motor de combustión de ciclo Atkinson dichas pruebas están enfocadas en base a los NOx sin dejar de lado a los gases CO HC, para lo cual es necesario como primer paso entrar en un modo prueba al motor Atkinson, para que permita estar en constante funcionamiento dicho motor sin la interrupción del motor eléctrico, esto permite 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 en relación a los NOx se plantea que es una hipótesis alternativa ya que se establece que al menos un dato es diferente.

Metodología utilizada en la Investigación

Para la recolección de datos, se empleó el método experimental. En el Anexo 11 se detalla minuciosamente cada uno de los pasos a seguir en este proceso.

Bibliografía

Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la Investigación . México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Anexo 12

Equipos utilizados en la investigación

MOTOR Vehículo Híbrido	Marca	Toyota	
	Modelo	Prius 1.8 HSD Eco (2007-2012)	
	Versión	1.789 LT	
	Potencia:	99 CV / 73 kW	
	Motor	Atkinson	
	Cilindrada	1.798 cm ³	
	Relación de compresión	9:1	
ANALIZADOR DE GASES	Marca	Brain Bee	
	Modelo	AGS688	
	Sonda de Nox	Brain Bee	

Fuente: Autor

Anexo 13

En este anexo se describe el procedimiento que el analizador de gases requiere antes de realizar las mediciones.

Paso 1:

Mantener presionado el botón de encendido durante 5 segundos para activar el equipo.



Paso 2:

El analizador de gases requiere un periodo de calentamiento de entre 10 y 15 minutos antes de iniciar las mediciones.



Paso 3:

A continuación, solicita realizar la prueba de estanqueidad.



Paso 3:

En este momento, se debe insertar la sonda en su alojamiento para confirmar que no hay fugas, lo cual constituye la prueba de estanqueidad.



Paso 4:

Después de esto, comienza la prueba de estanqueidad, lo cual se confirma con el mensaje "Prueba de estanqueidad en curso" que aparece en la pantalla del analizador de gases.



Paso 5:

Transcurridos unos minutos, la prueba de estanqueidad concluye y en la pantalla del equipo aparece el mensaje: "Estanqueidad acabado". En caso de no aprobar, se deberá repetir desde el paso 3.



Paso 6:

Al culminar la prueba de estanqueidad se presiona "ESC" y luego F2, allí se despliega una pantalla en donde se llenan los datos del vehículo y límites oficiales en la ciudad de Quito.



Paso 7:

Ya terminada la prueba de estanqueidad se despliega una indicación AUTOCERO EN CURSO, la pantalla de auto cero en un analizador de gases se utiliza para calibrar el equipo antes de realizar las mediciones. Durante el proceso de auto cero, el analizador ajusta sus sensores a un punto de referencia base, asegurando que las lecturas posteriores sean precisas y no estén influenciadas por ninguna desviación inicial, cuando finalice el proceso se retira la sonda.



Paso 8:

Es esencial que el vehículo haya alcanzado su temperatura ideal de funcionamiento.



Paso 9:

Una vez se han seguido las instrucciones del equipo antes de iniciar las mediciones, se procede a conectar el sensor piezoeléctrico para detectar las RPM del motor y la termocupla en una ubicación específica del motor para monitorizar la temperatura de funcionamiento.

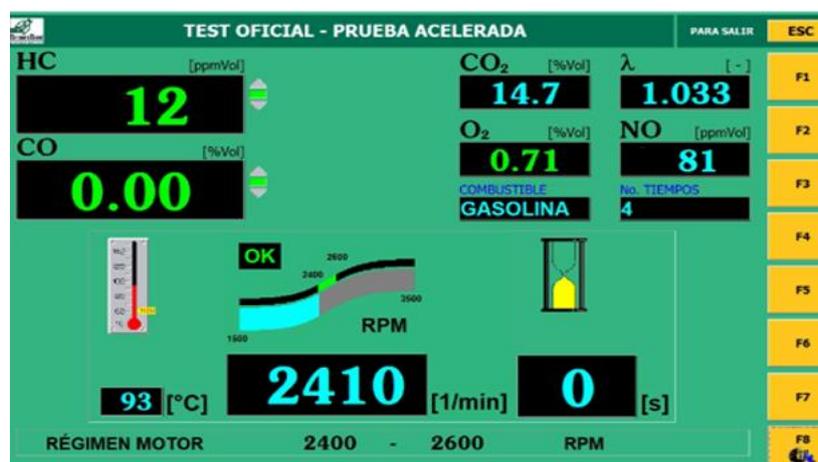


Anexo 14

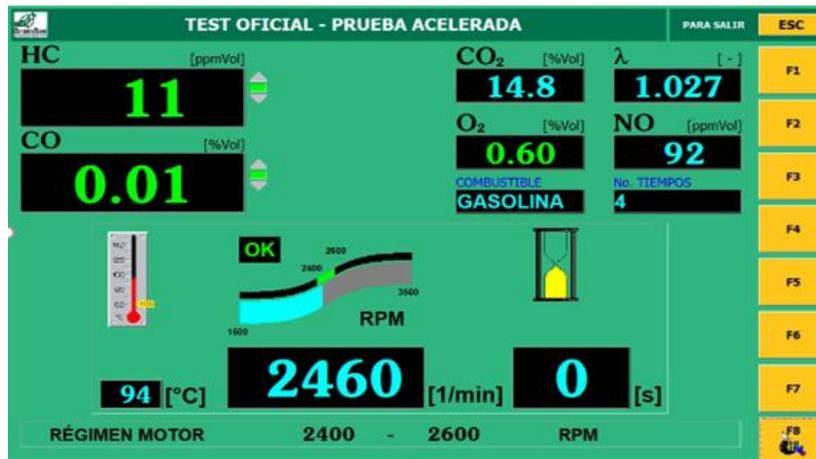
Prueba dinámica a 2500 RPM en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina EXTRA.

Durante este proceso, se insertará la sonda en el tubo de escape y se cronometrarán 30 segundos desde ese momento.

Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



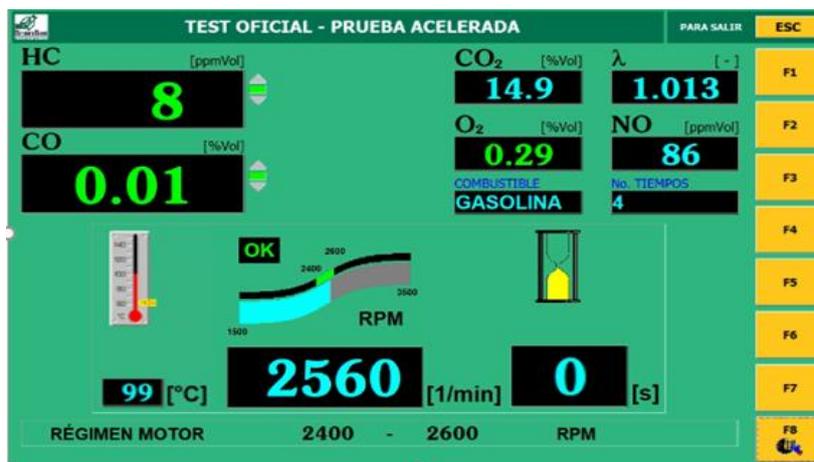
Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



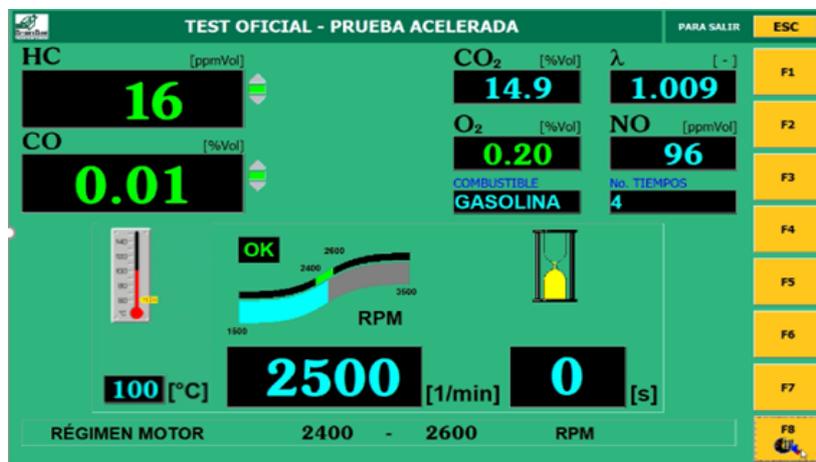
Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Anexo 15

Prueba dinámica a 2500 RPM en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina SUPER.

Durante este proceso, se insertará la sonda en el tubo de escape y se cronometrarán 30 segundos desde ese momento.

Prueba 1



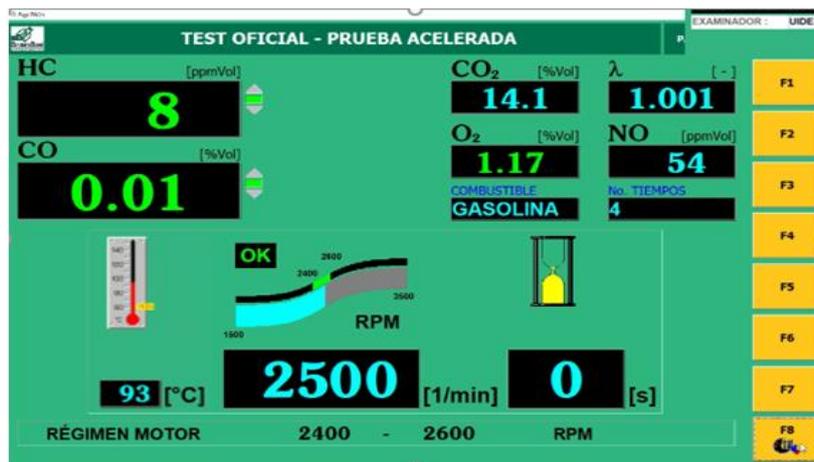
Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



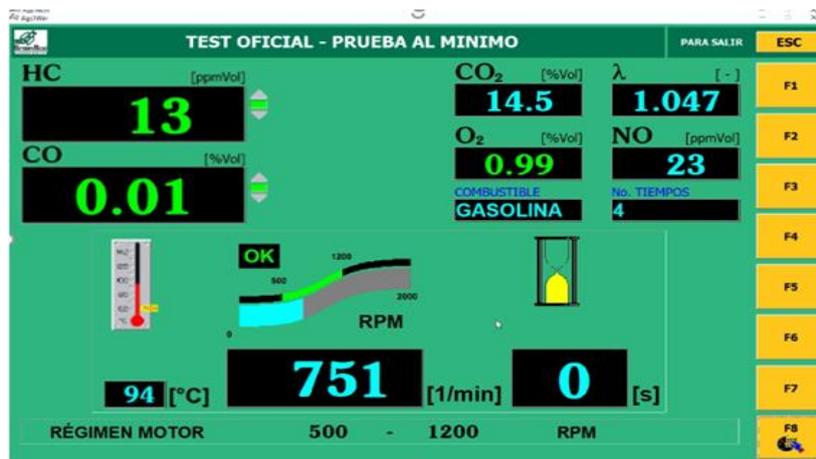
Anexo 16

Prueba en ralentí en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina EXTRA. Durante este proceso, se insertará la sonda en el tubo de escape y se cronometrarán 30 segundos desde ese momento.

Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



Prueba 5



Prueba 6



Prueba 7



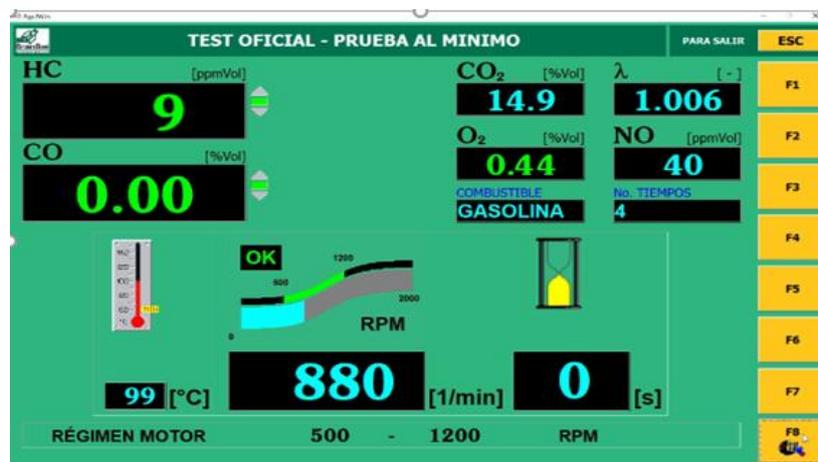
Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Anexo 17

Prueba en ralentí en un ciclo de 10 repeticiones utilizando gasolina SUPER. Durante este proceso, se insertará la sonda en el tubo de escape y se cronometrarán 30 segundos desde ese momento.

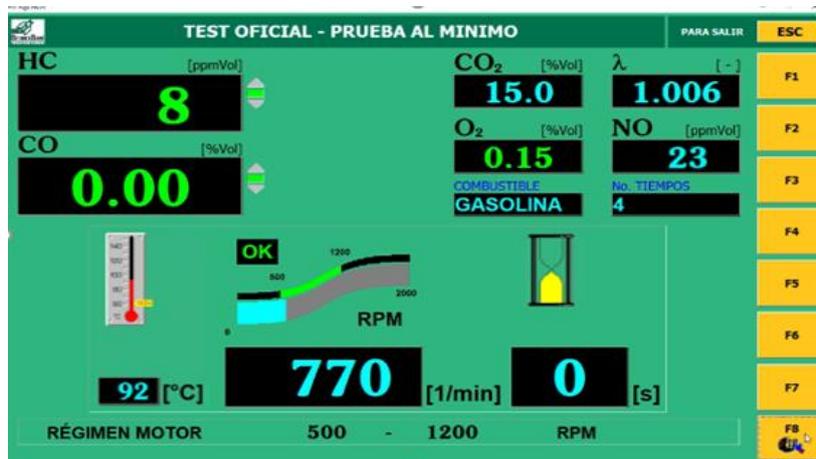
Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



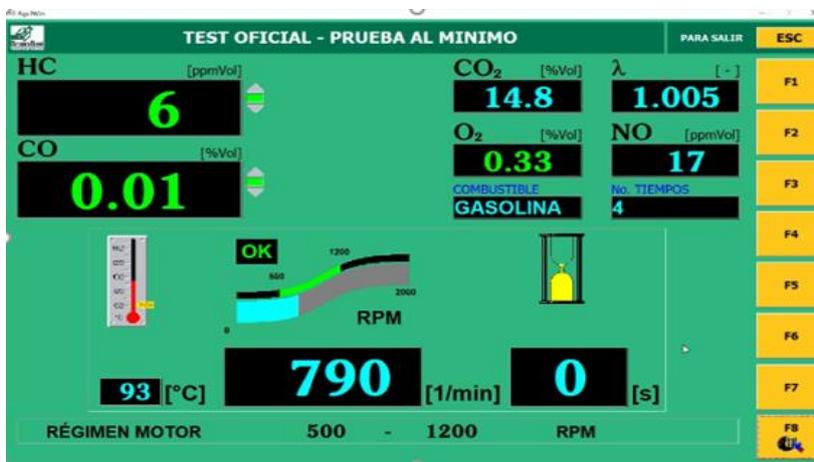
Prueba 5



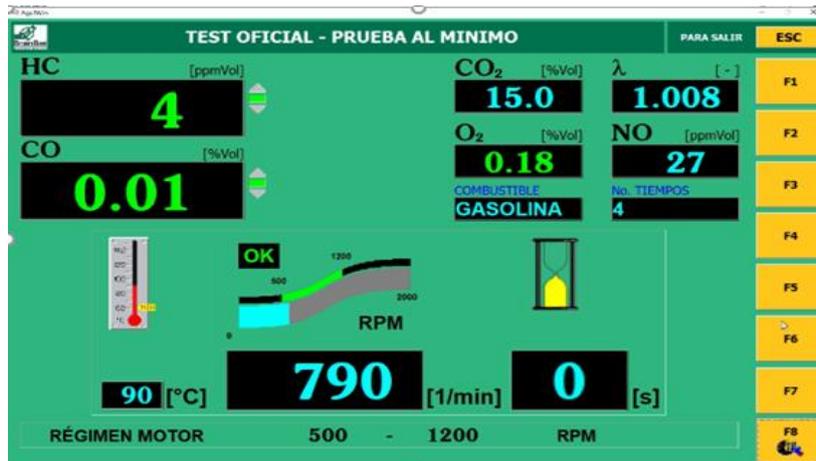
Prueba 6



Prueba 7



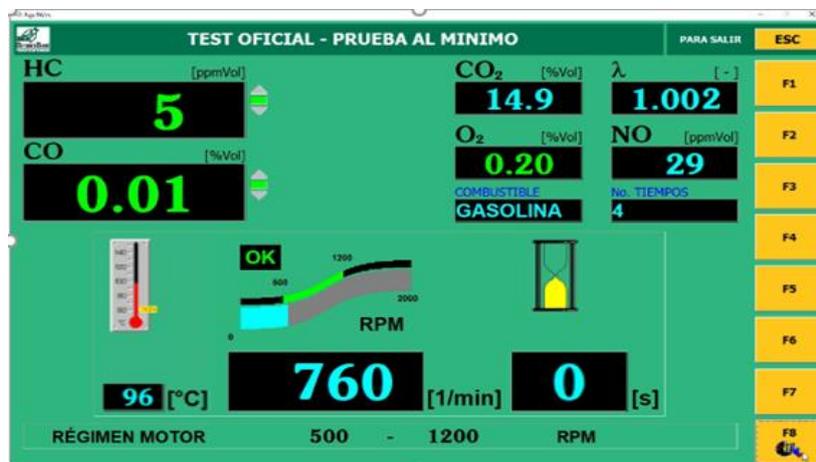
Prueba 8



Prueba 9



Prueba 10



Anexo 18

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

NORMATIVAS APLICADAS

Anexo 19

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. <https://archive.org/details/ec.nte.2349.200>

Anexo 20

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2003). NTE INEN 2204: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive <https://ia902909.us.archive.org/12/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>

Anexo 21

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). NTE INEN 2207: Revisión técnica vehicular. Procedimientos. In Internet Archive. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2207.pdf>

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos primarios:

Los datos primarios son los obtenidos mediante el analizador de gases y se utilizarán para generar gráficos y realizar el análisis de varianza (ANOVA).

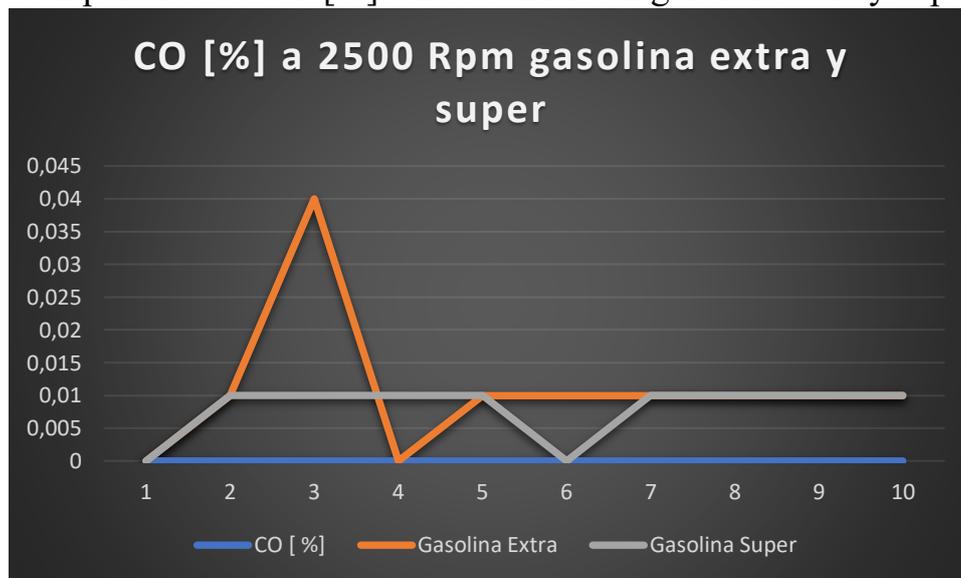
Anexo 22

Tabla que detalla los datos obtenidos de la prueba dinámica a 2500 RPM utilizando gasolina extra y super.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO [%]										
Gasolina Extra	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gasolina Super	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO2 [%]										
Gasolina Extra	14,7	14,8	14,6	14,0	14,8	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Gasolina Super	14,4	14,7	14,8	14,1	14,7	14,9	14,9	14,6	14,7	14,9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HC [ppm]										
Gasolina Extra	12	11	7	7	8	8	6	10	11	16
Gasolina Super	3	7	8	8	6	5	5	6	10	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O2 [%]										
Gasolina Extra	0,71	0,60	0,79	0,42	0,22	0,29	0,32	0,35	0,37	0,20
Gasolina Super	1,18	1,42	1,11	1,17	1,17	1,11	1,09	0,98	1,10	1,00
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lambda [-]										
Gasolina Extra	1,033	1,027	1,035	1,118	1,010	1,013	1,014	1,006	1,007	1,009
Gasolina Super	1,056	1,019	1,004	1,001	1,019	1,005	1,004	1,044	1,050	1,016
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NOx [ppmVol]										
Gasolina Extra	81	92	96	105	95	86	97	85	94	96
Gasolina Super	42	41	50	54	55	59	57	49	54	60
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura										
Gasolina extra	93	94	96	96	98	99	99	99	99	100
Gasolina Super	86	89	92	93	90	90	93	95	96	96

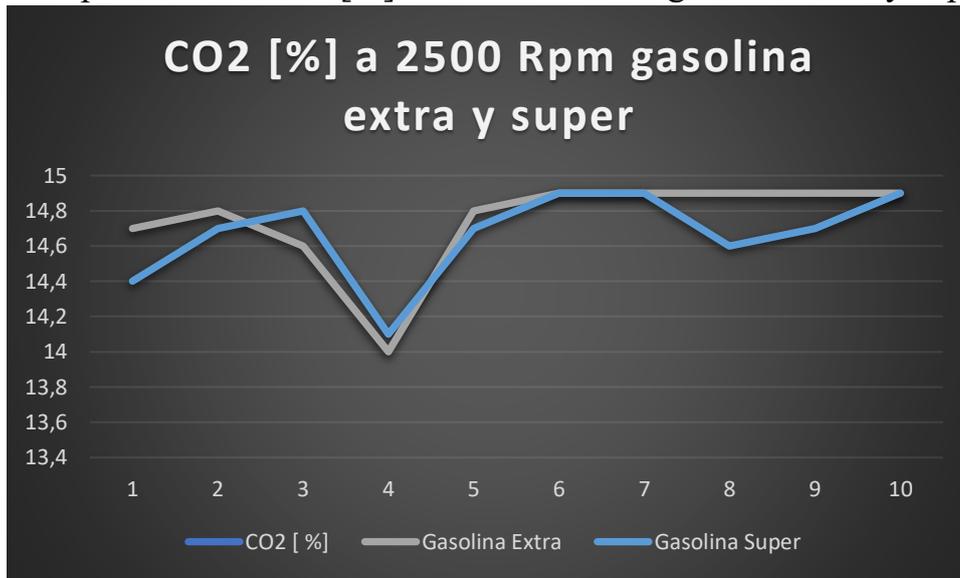
Anexo 23

Análisis comparativo de CO [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



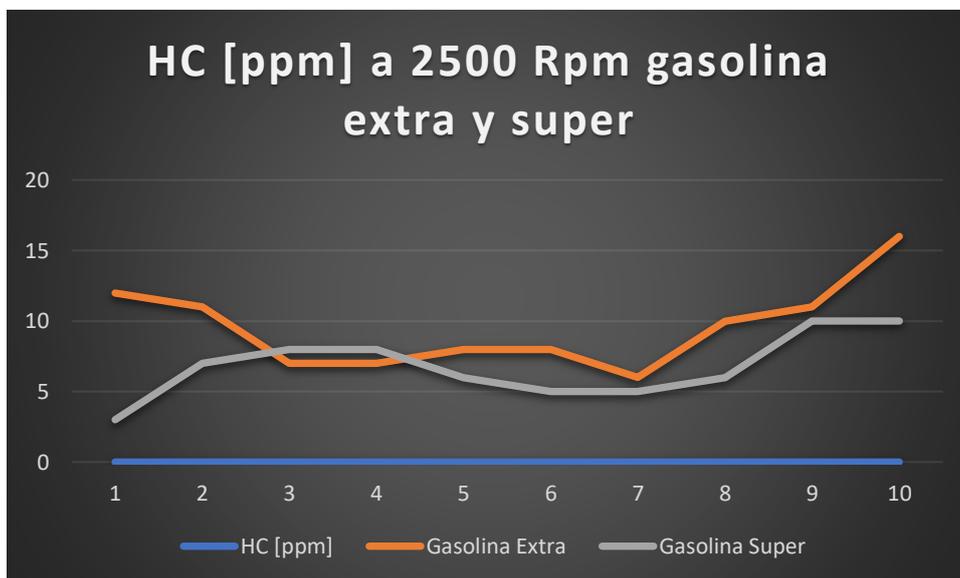
Anexo 24

Análisis comparativo de CO2 [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



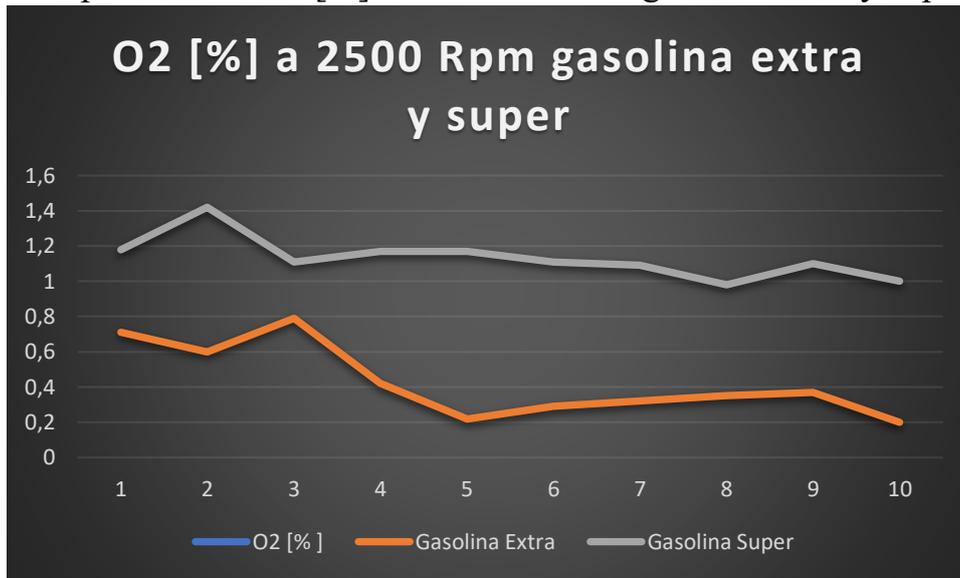
Anexo 25

Análisis comparativo de HC [ppm] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



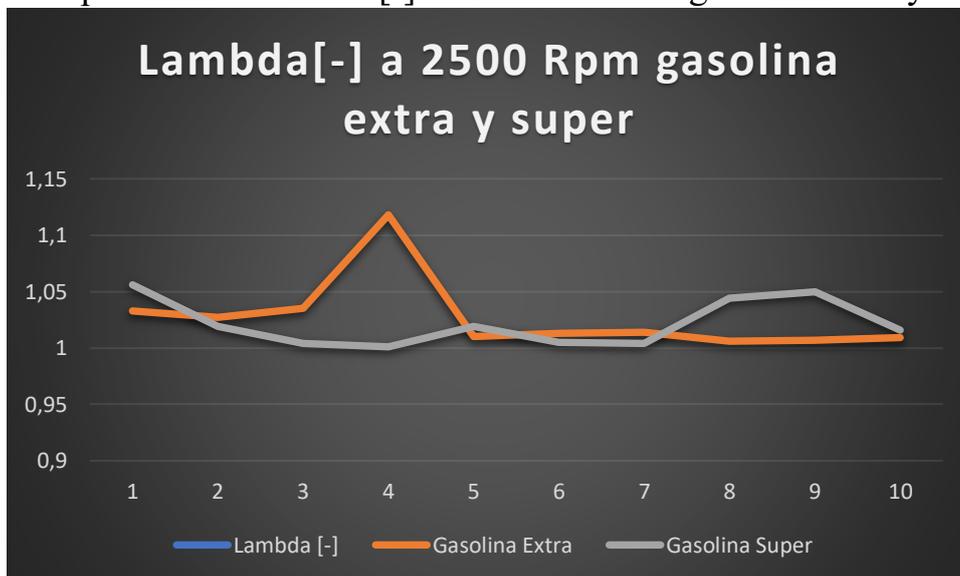
Anexo 26

Análisis comparativo de O2 [%] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



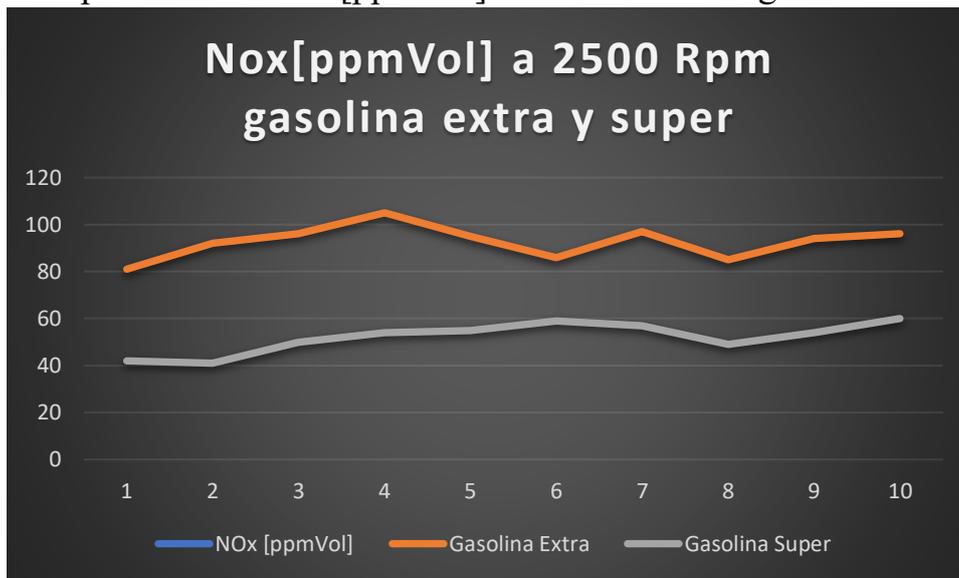
Anexo 27

Análisis comparativo de lambda [-] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



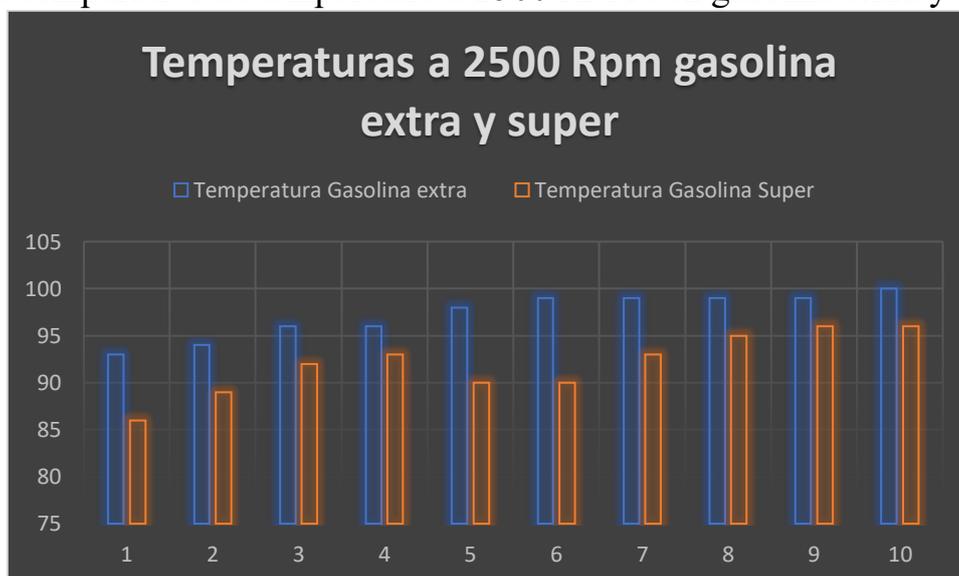
Anexo 28

Análisis comparativo de NOx [ppmVol] a 2500 RPM con gasolina extra y super.



Anexo 29

Análisis comparativo de temperatura a 2500 RPM con gasolina extra y super.



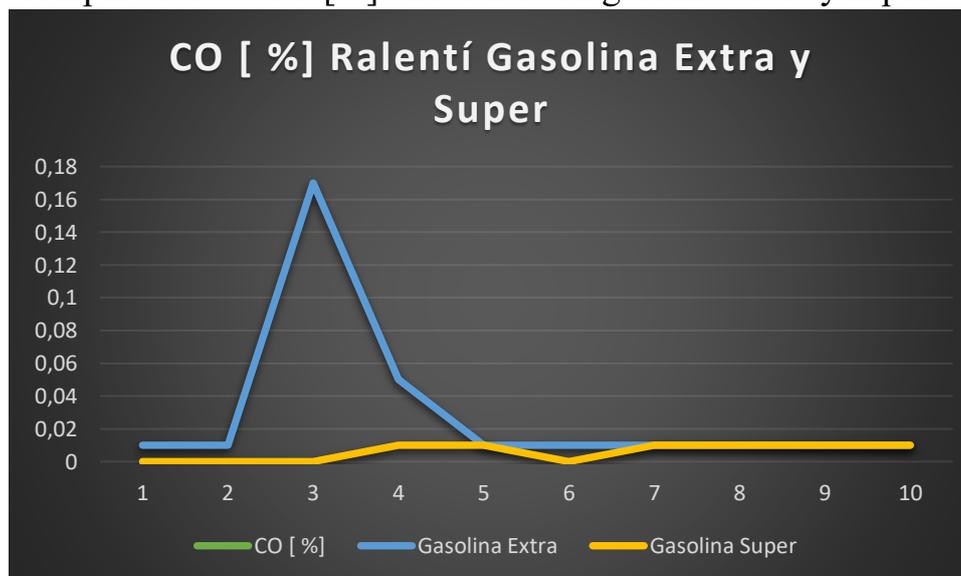
Anexo 30

Tabla que detalla los datos obtenidos de la prueba en ralentí utilizando gasolina extra y super.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO [%]										
Gasolina Extra	0,01	0,01	0,17	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gasolina Super	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO2 [%]										
Gasolina Extra	14,8	14,5	14,5	14,6	14,9	15,0	15,0	14,9	14,6	14,9
Gasolina Super	14,9	14,8	15,0	14,9	14,8	14,9	14,8	15	14,9	14,9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HC [ppm]										
Gasolina Extra	12	13	10	13	6	7	10	6	7	9
Gasolina Super	7	6	8	7	7	7	6	4	7	5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O2 [%]										
Gasolina Extra	0,91	0,99	0,79	0,60	0,34	0,26	0,23	0,78	0,70	0,44
Gasolina Super	0,2	0,19	0,15	0,19	0,15	0,44	0,33	0,18	0,55	0,20
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lambda [-]										
Gasolina Extra	1,019	1,047	1,013	1,027	1,015	1,011	1,010	1,008	1,032	1,006
Gasolina Super	1,008	1,008	1,006	1,004	1,006	1,006	1,005	1,008	1,006	1,002
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NOx [ppmVol]										
Gasolina Extra	25	23	25	27	25	30	33	38	36	40
Gasolina Super	17	18	23	20	20	21	17	27	30	29
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura Gasolina extra	93	94	96	96	98	99	99	95	99	99
Temperatura Gasolina Super	86	89	92	92	90	90	93	90	93	96

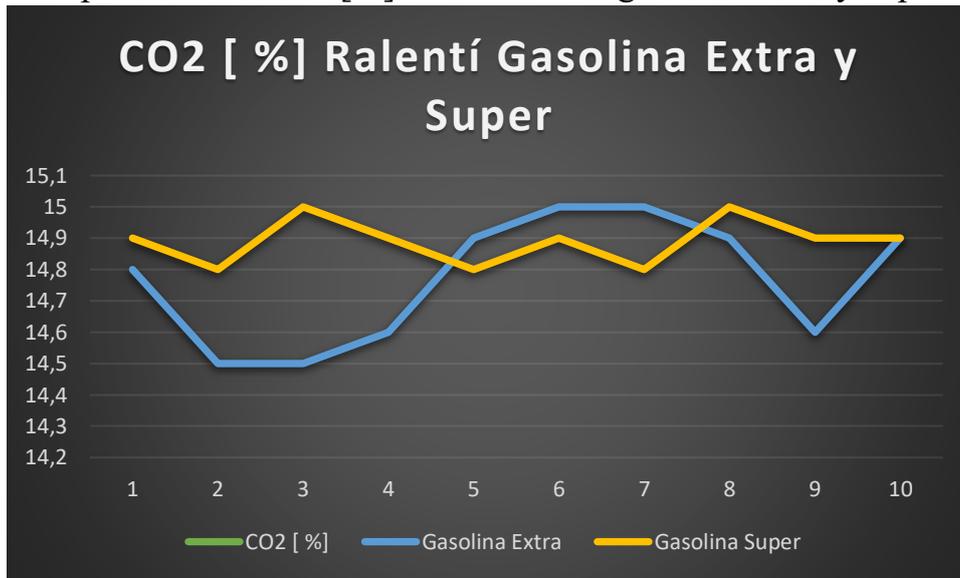
Anexo 31

Análisis comparativo de CO [%] en ralentí con gasolina extra y super.



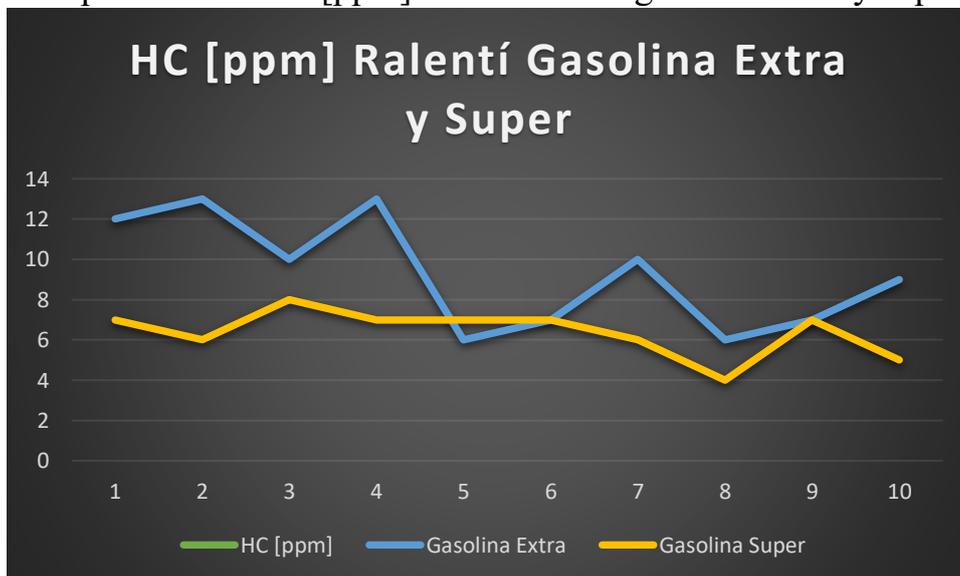
Anexo 32

Análisis comparativo de CO2 [%] en ralentí con gasolina extra y super.



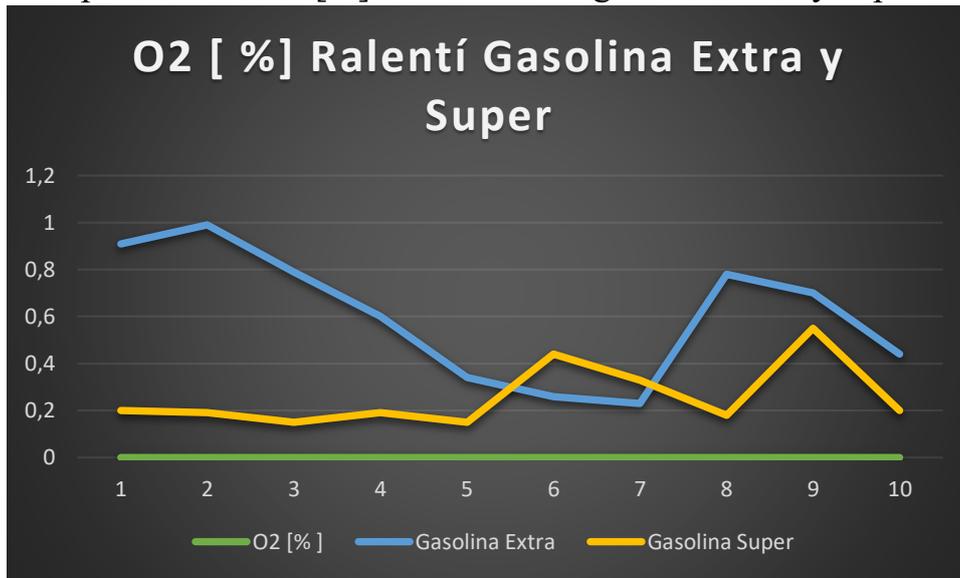
Anexo 33

Análisis comparativo de HC [ppm] en ralentí con gasolina extra y super.



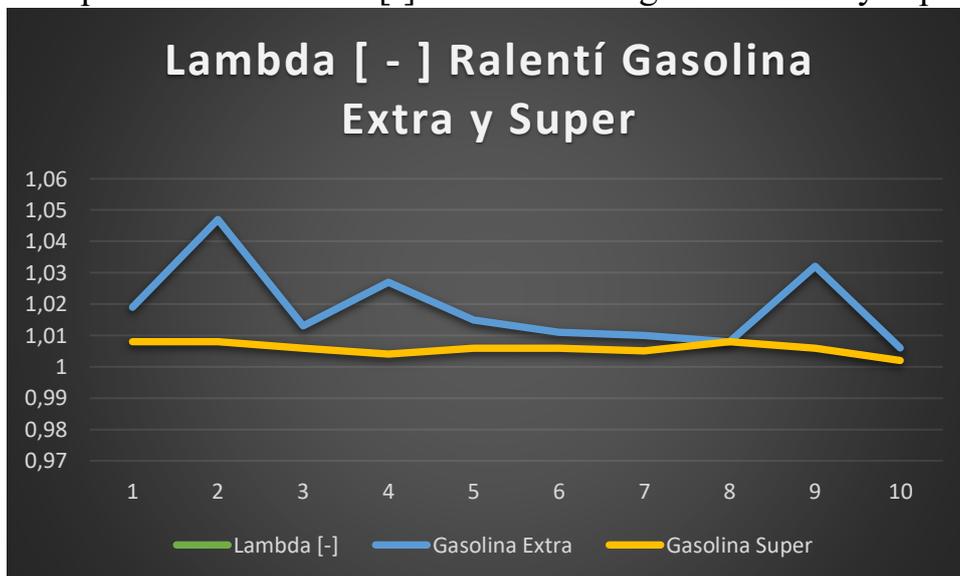
Anexo 34

Análisis comparativo de O2 [%] en ralentí con gasolina extra y super.



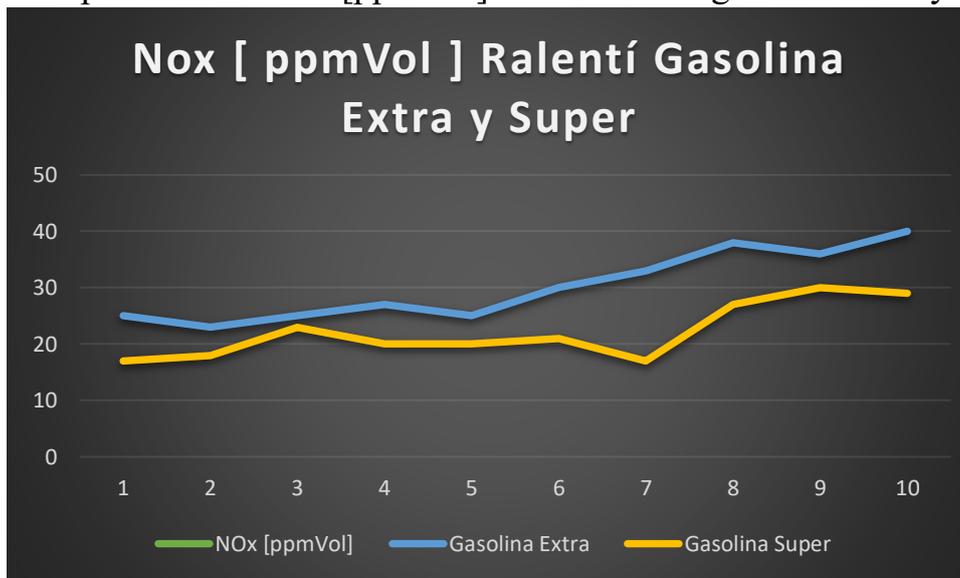
Anexo 35

Análisis comparativo de lambda [-] en ralentí con gasolina extra y super.



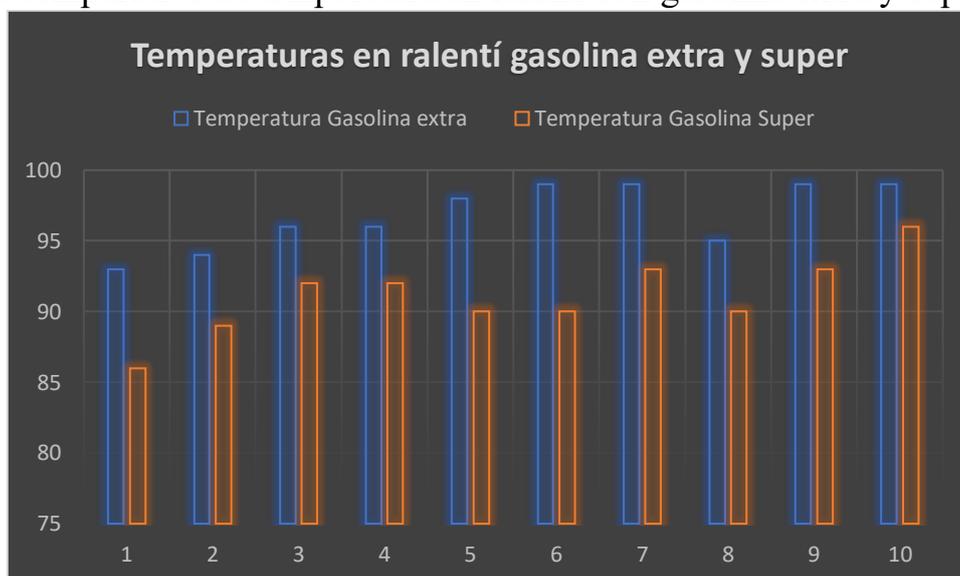
Anexo 36

Análisis comparativo de NOx [ppmVol] en ralentí con gasolina extra y super.



Anexo 37

Análisis comparativo de temperatura en ralentí con gasolina extra y super.



Anexo 38

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis de varianza (ANOVA 1) para cada tipo de gas, incluyendo el factor lambda de la prueba a 2500 RPM, según se muestra en la tabla del anexo 22.

ANOVA 1, 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>
				0,0001211
Fila 1	10	0,11	0,011	1
Fila 2	10	0,08	0,008	1,7778E-05

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	4,5E-05	1	4,5E-05	0,648	0,43133386	4,41387342
Dentro de los grupos	0,00125	18	6,9444E-05			
Total	0,001295	19				

ANOVA 1, 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>
				0,0782222
Fila 1	10	147,4	14,74	2
Fila 2	10	146,7	14,67	6

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	0,0245	1	0,0245	0,3431906	6	0,56526709
Dentro de los grupos	1,285	18	0,07138889			4,41387342
Total	1,3095	19				

ANOVA 1, 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	96	9,6	6
Fila 2	10	68	6,8	7

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	39,2	1	39,2	5,5125	0,03051259	4,41387342
Dentro de los grupos	128	18	7,11111111			
Total	167,2	19				

ANOVA 1, 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	4,27	0,427	4
Fila 2	10	11,33	1,133	2

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	2,49218	1	2,49218	88,302114	1	2,3057E-08
Dentro de los grupos	0,50802	18	0,02822333			4,41387342
Total	3,0002	19				

ANOVA 1, 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>
				0,0011332
Fila 1	10	10,272	1,0272	9
Fila 2	10	10,218	1,0218	0,0004284

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>
				0,1867209		
Entre grupos	0,0001458	1	0,0001458	3	0,67079196	4,41387342
Dentro de los grupos	0,0140552	18	0,00078084			
Total	0,014201	19				

ANOVA 1, óxido de nitrógeno

ANOVA NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
				43,211111
Fila 1	10	927	92,7	48,9
Fila 2	10	521	52,1	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>
				178,95343		
Entre grupos	8241,8	1	8241,8	8	8,6121E-11	4,41387342
Dentro de los grupos	829	18	46,0555556			
Total	9070,8	19				

ANOVA 1, temperatura

Temperatura

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	973	97,3	5,7888888 9
Fila 2	10	920	92	10,666666 7

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	140,45	1	140,45	17,070222	8	0,00062658
Dentro de los grupos	148,1	18	8,22777778			4,41387342
Total	288,55	19				

Anexo 39

Análisis de varianza (ANOVA 2) para cada tipo de gas, incluyendo el factor lambda de la prueba en ralentí, según se muestra en la tabla del anexo 30.

ANOVA 2, 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	0,3	0,03	0,0025777 8
Fila 2	10	0,06	0,006	2,6667E-05

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	0,00288	1	0,00288	2,2116041	0,15428407	4,41387342
Dentro de los grupos	0,02344	18	0,00130222			
Total	0,02632	19				

ANOVA 2, 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	147,7	14,77	0,0401111
Fila 2	10	148,9	14,89	0,0054444

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	0,072	1	0,072	3,1609756	0,09231619	4,41387342
Dentro de los grupos	0,41	18	0,02277778			
Total	0,482	19				

ANOVA 2, 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	93	9,3	7,5666666 7
Fila 2	10	64	6,4	1,3777777 8

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	42,05	1	42,05	9,4024844 7	0,0066509	4,41387342
Dentro de los grupos	80,5	18	4,47222222			
Total	122,55	19				

ANOVA 2, 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	6,04	0,604	0,0746933 3
Fila 2	10	2,58	0,258	0,0187733 3

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	0,59858	1	0,59858	12,808416 5	0,00214563	4,41387342
Dentro de los grupos	0,8412	18	0,04673333			
Total	1,43978	19				

ANOVA 2, 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>
				0,0001670
Fila 1	10	10,188	1,0188	7
Fila 2	10	10,059	1,0059	3,6556E-06

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>
				9,7474129		
Entre grupos	0,00083205	1	0,00083205	5	0,00588774	4,41387342
Dentro de los grupos	0,0015365	18	8,5361E-05			
Total	0,00236855	19				

ANOVA 2, óxido de nitrógeno

ANOVA NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
				37,955555
Fila 1	10	302	30,2	6
				23,733333
Fila 2	10	222	22,2	3

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>
				10,374639		
Entre grupos	320	1	320	8	0,00473883	4,41387342
Dentro de los grupos	555,2	18	30,8444444			
Total	875,2	19				

ANOVA 2, temperatura

Temperatura
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	968	96,8	5,2888888 9
Fila 2	10	911	91,1	7,4333333 3

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	162,45	1	162,45	25,537991 3	8,27E-05	4,41387342
Dentro de los grupos	114,5	18	6,36111111			
Total	276,95	19				