



ING. AUTOMOTRIZ

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

AUTOR:

Kevin Alexis Aguilar Madruñero

TUTOR:

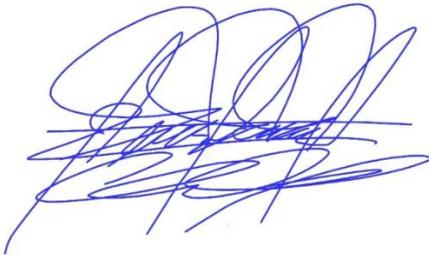
Prof. Cristian David Oña Rodríguez

Análisis de la variación de NOx en el funcionamiento de un motor de combustión interna de ciclo Otto aplicando un banco de refrigeración en el sistema de escape

CERTIFICACIÓN

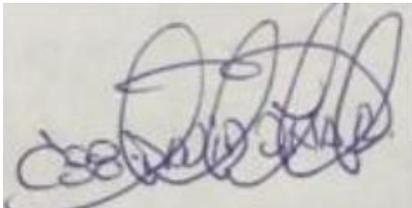
Yo, KEVIN ALEXIS AGUILAR MADRUÑERO declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo los 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, reglamento y leyes.



Kevin Alexis Aguilar Madruñero

Yo, CRISTIAN DAVID OÑA RODRIGUEZ, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Cristian David Oña Rodríguez

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia que fueron los pilares fundamentales para poder iniciar y concluir la carrera que tanto anhele, ya que supieron apoyarme en todas las situaciones que se presentaron a lo largo de la carrera y brindarme ese impulso para poder seguir adelante ya que ellos fueron los que sacrificaron muchas cosas para que pueda ingresar a esta carrera, por lo cual estaré eternamente agradecido

Kevin Alexis Aguilar Madruñero

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme brindado la luz y la sabiduría para poder afrontar las adversidades dentro de este ciclo y que me ha llevado a convertirme en mejor persona cada día.

Quiero agradecer a mis padres Marcial Aguilar y Teresa Madruñero quienes fueron los que creyeron en mí y me han apoyado en cada situación y han brindado un respaldo para poder seguir adelante día a día, con un amor incondicional que me ha servido para poder cumplir mis metas.

También agradecer a mis hermanos Gabriela y Steven, y mis abuelos Jorge y Olga que han sido mi inspiración y mi apoyo en cada tramo de este ciclo, y me han sabido impulsar para salir adelante.

Quiero agradecer al Ing. Cristian Oña quien ha sido pilar fundamental de este proceso, quien me ha sabido brindar un apoyo incondicional, brindando siempre su conocimiento y voluntad para poder cumplir mis metas y objetivos, además de su guía y orientación tanto personal como profesional.

Por último, agradecer a mis compañeros de trabajo Stalin, Juan Carlos y Antonio quien han sabido ser un apoyo para poder avanzar en este proceso, con consejos y su sabiduría he sabido ganar madurez y experiencia para ser cada día mejor.

Kevin Alexis Aguilar Madruñero

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD..... **¡Error! Marcador no definido.**

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2 FUNDAMENTACION TEORICA	10
3 MATERIALES Y METODOS.....	11
4 RESULTADOS Y DISCUSION	12
4. CONCLUSIONES	23
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
ANEXOS INTRODUCCIÓN.....	25
Anexo 1	26
M. A. M. Abian, «DIGITAL.CSIC,» Grupo Español del Carbón, diciembre 2014. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/10261/110627 . [Último acceso: 21 junio 2022].	26
Anexo 2	26
W. J. C. C. F. B. R. & N. M. Prüss-Üstün, Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks., Francia: Vivien Store, 2016.....	26
Anexo 3	26
E. K. M. Palacios, «La contaminación del aire, un problema de todos,» Revista de la Facultad de Medicina de Bogota, vol. 67, nº 2, pp. 189,190, junio 2019.	26
Anexo 4	26
E. S. Labastida, «REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SO _x Y NO _x MEDIANTE NANOTUBOS DE CARBONO,» diciembre 2013. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/13929/1/419712.pdf. [Último acceso: 22 junio 2022].	26
ANEXOS FUNDAMENTACION TEORICA	26
Anexo 5	26
C. M. C. E. R. Melitón Estrada, «Simulación Numérica del Proceso de Requemade de Gases para la Reducción de Óxidos de Nitrógeno (NO _x),» Creative Commons, vol. 17, nº 1, pp. 1-2, 2005.....	26
Anexo 6	26
Z. B. J. M. M. N. J. Wojtas, «Sensor Optoelectronico para la deteccion de NO _x ,» 23-27 marzo 2009. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/29491152/Optoelectronic_sensor_for_NOx_detection_pdf . [Último acceso: 22 junio 2022].....	26
Anexo 7	27

A. M. A. M, «Minimización de emisiones de NOx y hollín en procesos de combustión,» Grupo Español del Carbón, vol. Disponible: http://hdl.handle.net/10261/110627 , nº Consultado el 21 de junio del 2022, p. 2, 2014.	27
Anexo 8	27
B. F. S. Forteza, «ANÁLISIS Y METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LOS GASES NOx,» septiembre 2017. [En línea]. Available: chrome- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2 117/188487/An%C3%A1lisis%20y%20Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20Reducci%C 3%B3n%20de%20los%20Gases%20NOx%20%20(2).pdf. [Último acceso: 22 junio 2022].....	27
ANEXOS MATERIALES Y METODOS	28
Anexo 9	29
Equipos Utilizados en la Investigación.....	29
Anexo 10.....	30
Proceso explicado a detalle para la toma de datos de emisiones del motor mediante el uso del equipo para análisis de gases AGS 688, detallando paso por paso el procedimiento.....	30
Anexo 11	36
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	36
Primer punto de medición.....	36
Anexo 12.....	37
Imágenes prueba estatica 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	37
Primer punto de medición.....	37
Anexo 13.....	38
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	38
Segundo punto de medición.....	38
Anexo 14.....	39
Imágenes prueba estatica 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	39
Segundo punto de medición.....	39
Anexo 15.....	40
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	40
Tercer punto de medición	40
Anexo 16.....	41
Imágenes prueba estatica 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	41
Tercer punto de medición	41
Anexo 17.....	41
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	42
Cuarto punto de medición.....	42
Anexo 18.....	43
Imágenes prueba estatica 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	43
Cuarto punto de medición.....	43
Anexo 19.....	44
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	44
Quinto punto de medición.....	44
Anexo 20.....	45

Imágenes prueba estatica 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.....	45
Quinto punto de medición.....	45
Anexo 21.....	46
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349.	46
Anexo 22.....	46
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203.	46
Anexo 23.....	46
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.	46
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
Anexo 24.....	47
Tablas descriptiva de los datos, de la prueba dinámica a 2500 Rpm.....	47
Anexo 25.....	48
Tablas descriptiva de los datos, de la prueba estática a 850 Rpm	48
Anexo 26.....	48
Tablas descriptiva de los datos, de la prueba dinamica a 2500 Rpm.....	48
Anexo 27.....	49
Tablas descriptiva de los datos, de la prueba estática a 850 Rpm	49
Anexo 28.....	49
Análisis Estadístico.....	49
Anexo 29.....	52
Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba estática	52
Anexo 30.....	55
Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba dinámica.....	55
Anexo 31.....	57
Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba estatica	57

**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE NOX EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR
DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CICLO OTTO APLICANDO UN BANCO DE
REFRIGERACIÓN EN EL SISTEMA DE ESCAPE**

Prof. Cristian Oña¹, Kevin Aguilar.²

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

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador
keaguilarma@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

RESUMEN

Introducción: La emisión de gases NOx es reflejado en la afección de la salud por excesiva contaminación producida por motores de combustión dando como resultado aumento de enfermedades respiratorias, por lo que se buscara el análisis de un banco de refrigeración aplicado al sistema de escape de un motor de ciclo otto con el objetivo de obtener una variación porcentual de emisiones de NOx que son generados en la cámara de combustión a altas temperaturas. **Metodología:** Se empleó un método cuantitativo aplicando un histórico-cíclico con valores obtenidos de las mediciones efectuadas bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349. Y un método experimental practico que permitió hacer simulaciones en diferentes condiciones de trabajo **Resultados:** Los resultados indicaron que refrigerando el sistema de escape las emisiones de NOx tuvieron una reducción en sus valores de 71% ppm en prueba dinámica y 67% ppm en prueba estática. Al ser cuantificados en una gráfica se pudo observar una variación en los puntos de medición, indicando que la refrigeración incide en la emisión de estos gases. **Conclusión:** A partir de los análisis realizados se determinó que podemos obtener variación de NOx al enfriar el sistema de escape teniendo una temperatura constate de refrigeración en el banco, incidiendo en los NOx de manera directa y teniendo un efecto mínimo en la reducción de los demás gases lo cual contribuye en el control y mitigación de la contaminación ambiental emitida.

Palabras clave: Gases Contaminantes, Temperatura de escape, Variación de NOx, Análisis de Gases

ABSTRACT

Introduction: The emission of NOx gases is reflected in the health condition due to excessive pollution produced by combustion engines, resulting in an increase in respiratory diseases, for which the analysis of a refrigeration bank applied to the exhaust system of a otto cycle engine in order to obtain a percentage variation of NOx emissions that are generated in the combustion chamber at high temperatures. **Methodology:** A quantitative method was used, applying a historical-cyclical method with values obtained from the measurements carried out under the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 2 349. And a practical experimental method that allowed simulations to be carried out in different working conditions. **Results:** The results indicated that refrigerating the exhaust system the NOx emissions had a reduction in their values of 71% ppm in the dynamic test and 67% ppm in the static test. When quantified in a graph, a variation in the measurement points could be observed, indicating that refrigeration affects the emission of these gases. **Conclusion:** Based on the analyzes carried out, it was determined that we can obtain NOx variation by cooling the exhaust system, having a constant cooling temperature in the bench, directly influencing NOx and having a minimal effect on the reduction of the others. gases which contribute to the control and mitigation of environmental pollution emitted.

Keywords: Polluting Gases, Exhaust Temperature, NOx Variation, Gas Analysis

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de combustión han sido considerados como los causantes más frecuentes de emisiones contaminantes disipadas al ambiente exterior, la producción de estos gases

viene dado por una serie de factores que cumplen con características específicas, siendo estas las que nos impiden quemar combustible sin generar hollín y emisiones contaminantes hacia el ambiente, actualmente existen métodos o

sistemas diseñados para controlar en gran porcentaje las emisiones que se generan en un motor de combustión interna, pero no son completamente idóneos para evitar las enfermedades ocasionadas a la salud humana [1]. Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2016 indico que daños producidos a la salud como enfermedades pulmonares crónicas, cáncer a los pulmones, asma y enfermedades respiratorias en general son producidas por la contaminación excesiva que existe en el ambiente [2]. Por otra parte estudios indican que las emisiones de estos gases no son las causantes directas de estas enfermedades, ya que dependiendo de factores como la intensidad, frecuencia y duración de exposición las podemos tomar como factores asociados, que al ser combinados con otros elementos como la desnutrición, tabaquismo, condiciones de poca higiene, condiciones ambientales y falta de vacunas, pueden causar el inicio y prolongamiento de las enfermedades mencionadas [3]. El óxido nítrico (NO) es conocido por ser un gas con características como su carencia de color, ser no inflamable y además ser muy toxico. El bióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas con características como que suele ser rojizo de igual manera no es inflamable, pero si muy toxico y puede causar asfixia, pero se emplea las siglas NOx para indicar en conjunto al NO y NO₂ siendo estos los causantes de la contaminación del aire. La formación de estos gases es por la oxidación que tiene el nitrógeno cuando se producen ciclos de combustión en fuentes que pueden ser naturales o como resultados de actividades del ser humano y generalmente son producidas a elevadas temperaturas elevadas. Los NOx influyen en alto grado a la contaminación ya que actúan en el smog fotoquímico y esto es generado en mayor proporción por los vehículos propulsados por motores de combustión interna, superando en gran parte a las centrales de producción eléctrica y otras maquinarias de mayor volumen. [4]

2 FUNDAMENTACION TEORICA

Existen investigaciones desarrolladas con el fin de reducir las emisiones de los gases NOx con procesos distintos, como es el caso de un modelado que simula un proceso de reducción de NOx por un método de requemado de gases, el cual consiste en reingresar las emisiones de NOx de nuevo con la mezcla de gas natural el cual ayudara como agente reductor con un porcentaje de 7.5% a 35%. Los resultados indican una gran notable reducción que podría mejorarse si se integra un modelo detallado de la mecánica de fluidos turbulenta. [5]. Otra investigación presenta un estudio referente a la aplicación de la Espectroscopia de Absorción Mejorada por Cavidad (CEAS) para la detección de óxidos de nitrógeno. En este método la concentración que existe del gas se determina midiendo el tiempo del pulso de luz atrapado dentro de una cavidad óptica y la señal se guarda con un foto-receptor de bajo ruido, por lo que este sensor tiene características para ser desarrollado para un uso portátil y su sensibilidad es similar a los detectores químicos, añadiendo ventajas como precios bajos, tamaño reducido y la capacidad de detectar otros gases. [6] Un estudio que demuestra cómo reducir los NOx en máquinas de mayor tamaño es con la adición de residuos agrícolas como es la cascarilla de arroz al ciclo de combustión que funcione con carbón, estos residuos tiene menor concentración de nitrógeno y ayudan en proceso catalíticos generando así menor cantidad de nitrógeno y sulfuro que se oxida, generando un porcentaje de alrededor de 10% de reducción de NOx en la mediciones tomadas. [7] Un artículo indica el uso de un catalizador de 3 vías (twc, three way catalytic converter), este catalizador lleva este nombre porque es diseñado para la reducción de NOx, CO, HC. Formado por un sustrato especial que es de cerámica que posee un recubrimiento de óxido de aluminio (Al₂O₃) además metales preciosos como el platino (Pt), paladio (Pd) con la función de oxidar el CO y HC y el rodio (Rh) con la

función de reducir los NOx a nitrógeno, pero para motores de inyección directa se emplea otro modelo de catalizador llamado Acumulador de NOx el cual es muy efectivo cuando los valores de temperatura de los gases se encuentren entre 250°C y 500°C, al alcanzar estas temperaturas empezara su funcionamiento y el motor tendrá un modo para que trabaje de forma estratificada y también homogéneo-pobre, este catalizador contiene los mismos elementos que el de 3 vías pero en este se añade una capa de óxido de Bario (BaO) que realiza mayor trabajo para retener los NOx. [8]

3 MATERIALES Y METODOS

Para la investigación se empleó un motor de combustión interna de ciclo otto de 4 tiempos, un analizador de gases, un contador de revoluciones digital y termómetro. A continuación, se presentarán las especificaciones técnicas de los equipos utilizados

Tabla1. Especificaciones motor Honda

MOTOR	Marca	Honda
	Modelo	GX160
	Motor	4 tiempos Mono cilíndrico
	Cilindraje	163cc
	Potencia	5.5hp @3600rpm
	Torque	1,1 Kgf.m @2500rpm

Fuente: Aguilar (2022)

Tabla2. Especificaciones analizador de gases AGS-688

	CO	De 0 A 9.99 %vol. CO2 De 0 A 1
	CO2	De 0 A 19.9 %vol.

ANALIZADOR DE GASES	HC	De 0 A 9999 ppm vol.
	O2	De 0 A 25 %vol.
	Lambda	De 0.5 A 5
	Revoluciones	De 300 A 9990 rpm
TACOMETRO DIGITAL	Rango de medición:	De 2.5 a 99,999 RPM
	Resolución	0.1 RPM
	Precisión	--0.05%
	Registro de datos	0.8 seg

Fuente: Aguilar (2022)

Los materiales mencionados serán los que nos permiten llevar a cabo una investigación experimental con mucha precisión ya que el motor al ser mono cilíndrico los equipos deberán ser más exactos, además que al no tener mucha demanda de esfuerzo podrá trabajar adecuadamente con el combustible local, por otra parte, el analizador de gases cuenta con homologación del país para la medición de valores y además se encuentra calibrado para tener mayor índice de precisión en sus lecturas de emisiones. Para dar inicio a las mediciones se procede a realizar el inicio de la máquina de gases la cual conlleva auto encenderse y calentarse hasta llegar a su temperatura óptima de funcionamiento, de igual manera el motor de combustión necesita calentarse hasta alcanzar una temperatura adecuada de trabajo. Una vez realizado esto la máquina de gases inicia un ciclo de estanqueidad, para poder dar inicio a la auto calibración de la maquina y es imprescindible que la sonda no se haya desconectado ni se haya

introducido en la salida del escape. Se procede a insertar la sonda dentro de la salida del escape que necesitamos medir, y esperamos a que la maquina empiece a realizar las lecturas y por tanto esperar que los valores se normalicen.

En la siguiente etapa se procede a realizar 10 pruebas sin la refrigeración del sistema de escape, para lo cual seguimos los pasos de la prueba que es tomar el tiempo en este caso 15 segundos y llevar el régimen del motor a 2500 RPM's en la siguiente parte se contabiliza un lapso de 30 segundos para la prueba estática, se tomó un tiempo de 20 segundos por cada prueba para permitir estabilizar los valores de la maquina analizadora de gases. En la etapa siguiente se procede a ubicar el sistema de escape en el banco de refrigeración y consiguiente se procede a tomar lectura de las temperaturas del líquido y del sistema de escape para después repetir el mismo proceso de medición de gases siguiendo los pasos para prueba estática

4 RESULTADOS Y DISCUSION

En las primeras etapas se realizaron 10 mediciones respectivamente por cada salida ubicada en el tubo de escape antes y después de ser refrigerado en el banco, a partir de los cuales se han elaborado una serie de promedios y se los ha especificado a todos los gases provenientes del escape del motor para realizar un análisis en una tabla con los valores obtenidos de manera general.

Tabla 3. Valores de gases de prueba dinámica etapa uno y dos

PRUEBA DINAMICA						
Tipo de Gas	Silenciador	Antes de refrigeración	Durante la refrigeración	Después de la refrigeración	ANOVA	
					F	F. crítico
CO %	7,075	4,08	2,527	1,361	123,24	3,71

CO2 %	8,81	5,33	3,88	2,3	138,54	3,71
HC ppm	554,9	492,1	342,6	226	78,16	3,71
NOx ppm	31,4	15	8,7	4,9	313,08	3,71
O2 %	3,074	10,419	13,638	16,667	227,85	3,71

Fuente: Aguilar (2022)

En la siguiente etapa se realizó el promedio de las emisiones de los gases en prueba estática a un régimen de 750-800 RPM's que equivale a un 25% de la carga total del motor, por lo que de los valores obtenidos se realizó un promedio con los resultados de cada emisión y se añadió los valores respectivos obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) lo cual se indica a continuación en la tabla

Tabla 4. Valores de gases de prueba estática

PRUEBA ESTATICA						
Tipo de Gas	Silenciador	Antes de refrigeración	Durante la refrigeración	Después de la refrigeración	ANOVA	
					F	F. crítico
CO %	5,522	2,834	1,75	1,235	224,72	3,71
CO2 %	8,61	4,61	3,07	2,24	219	3,71
HC ppm	907,5	687,7	423,8	292,4	116,63	3,71
NOx ppm	28,7	13,4	7,9	5,2	722,05	3,71
O2 %	4,256	12,525	15,16	16,826	265,83	3,71

Fuente: Aguilar (2022)

En cuanto a los resultados de los datos analizados obtenidos en la prueba dinámica correspondiente a la Tabla 3, al refrigerar el sistema de escape del motor los datos de las emisiones indicaron cambios y después del análisis de varianza (ANOVA) se ubicaron los valores de manera estadística, para lo cual se puede notar que los NOx que son los gases principales de estudio tuvieron una variación en sus emisiones por lo

que se obtiene un promedio de 31,4 ppm referente a las emisiones en el primer punto del escape que es la entrada directa al silenciador, pero ya después de haber circulado por el silenciador y haber hecho la medición en el siguiente punto que es después del silenciador y antes de que se empiece refrigerar se obtuvo un promedio de 15 ppm y después se obtuvieron los valores referentes al punto del escape donde se encuentra en refrigeración arrojando un valor de 8,7 ppm y se llega al valor final en el último punto que es en la salida del sistema de escape ya después de que se cumplió el proceso de refrigeración, dándonos el valor de 4,9 ppm por lo cual se obtiene un valor de $F = 313,08$ siendo el factor crítico 3,71 por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, en todo su concepto.

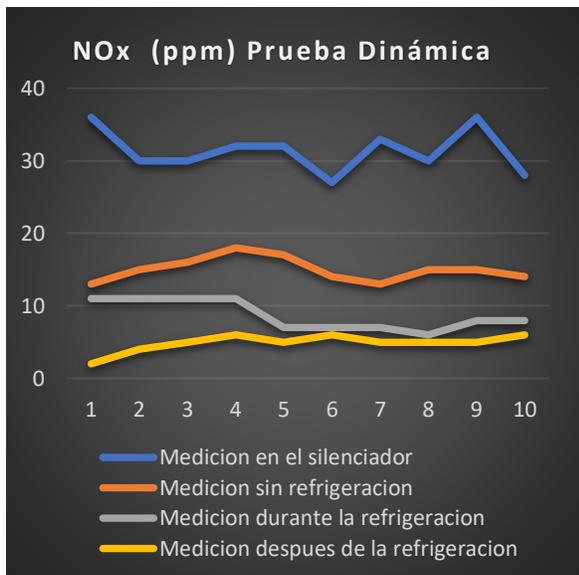


Gráfico 1: Valores de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

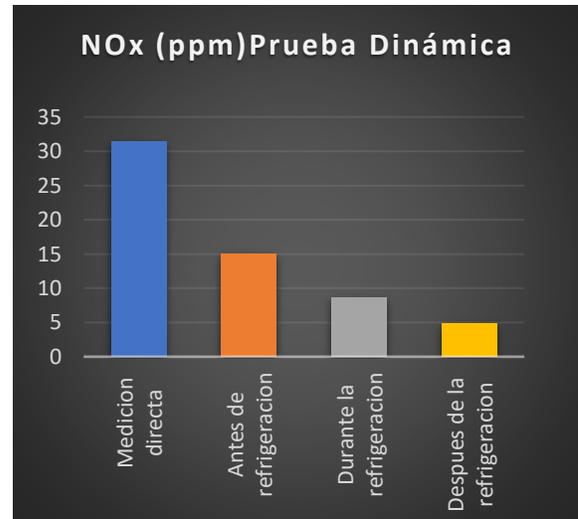


Gráfico 2: Valores promedio de Óxido de Nitrógeno (NOx) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

Se puede evidenciar las barras que representan los valores de los promedios de las pruebas dinámicas realizadas, la barra de color azul representa la medición de los gases con la sonda ubicada directamente en el interior del colector de escape lo cual nos indica una lectura directa de las emisiones, la segunda barra correspondiente al color naranja representa los valores de las emisiones cuando los gases pasan por el colector y el silenciador hacia la tubería, el siguiente color que es gris corresponde a los valores de las emisiones cuando el tubo de escape se encuentra sumergido y se encuentra en pleno proceso de refrigeración y por último el color amarillo que representa los valores de las emisiones cuando ya pasan la zona de refrigeración y se acerca hacia la parte final del sistema de escape, de esta manera se puede observar que los valores de las emisiones de los NOx se reducen notablemente en cada punto de medición hasta llegar al final y es porque la temperatura se minimiza al igual que existe mayor concentración de oxígeno en la salida, de igual manera se plasmaron los datos de cada uno de los gases de las emisiones del motor para poder realizar un análisis con gráficos esquemáticos para analizar si fueron afectados por el proceso de reducción de temperatura mientras se realizaron las pruebas dinámicas.

Análisis Independiente de los Gases

Además de analizar los NOx podemos evidenciar que después de las pruebas realizadas los demás gases de las emisiones también tuvieron variación al recibir refrigeración, en el caso del monóxido de carbono (CO) tenemos la línea de color azul que representa las emisiones medidas de manera directa en el colector de escape y se puede evidenciar que los valores son elevados, después en la siguiente línea podemos observar una disminución de las emisiones al ya pasar por el colector y el silenciador haciendo que las emisiones se reduzcan y por último tenemos las líneas de color plomo y amarillo que sus valores ya son más reducidos ya que en esos puntos pasaron por refrigeración y se acercan más a la salida del sistema de escape

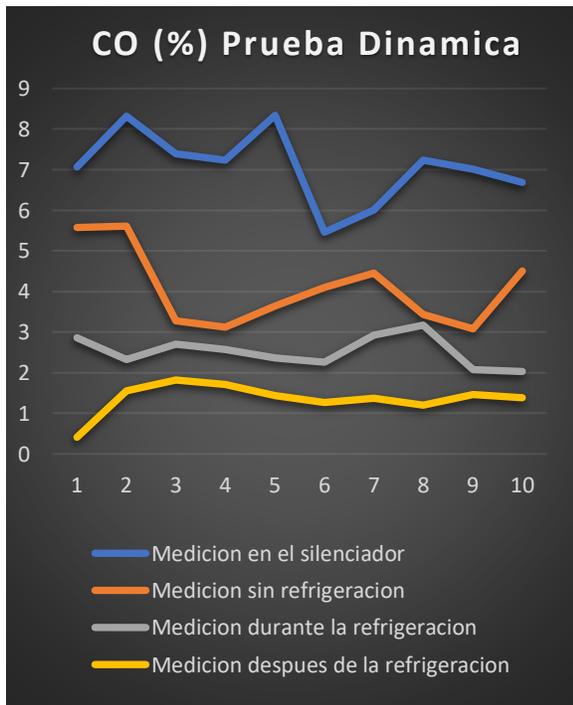


Gráfico 3: Valores de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

En el siguiente gráfico correspondiente al (dióxido de carbono) CO2 se puede evidenciar la variación que tienen sus líneas de manera similar al CO, en las que existe una reducción notoria en los valores de las emisiones iniciando desde la

línea azul que es una medición directa sin refrigeración se puede ver que los valores alcanzan la zona más alta, y después que ya empiezan a reducirse conforme se sigue aproximando al final del escape logrando así llegar a los valores mínimos obtenidos por la refrigeración.

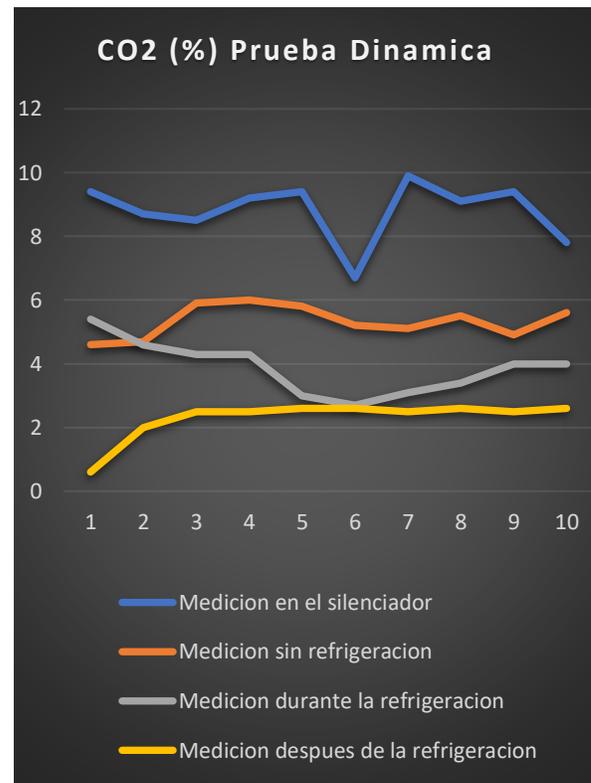


Gráfico 4: Valores de emisiones de Dióxido de Carbono (CO2) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

En el caso de los hidrocarburos igual existe una variación en sus valores con la diferencia que las curvas azul y naranja llegan a entrelazarse debido a que en las mediciones pudo existir una acumulación de gases haciendo que los valores empezaran a variar debido a que estos puntos son los más cercanos a la zona de alta temperatura comprendida entre la salida del escape hasta el final del silenciador y de igual manera pudo existir una ligera variación en la temperatura haciendo que los valores variaran a tal grado de que las curvas se entrelazaron.

Es importante mencionar que la reducción de los Hidrocarburos sin la presencia de ningún regulador de contaminación como un catalizador es un indicio que puede servir para estudios ya que la reducción de hidrocarburos puede servir para cumplir con las normativas INEN NTE 2349 2203, 2204 nacionales como internacionales.

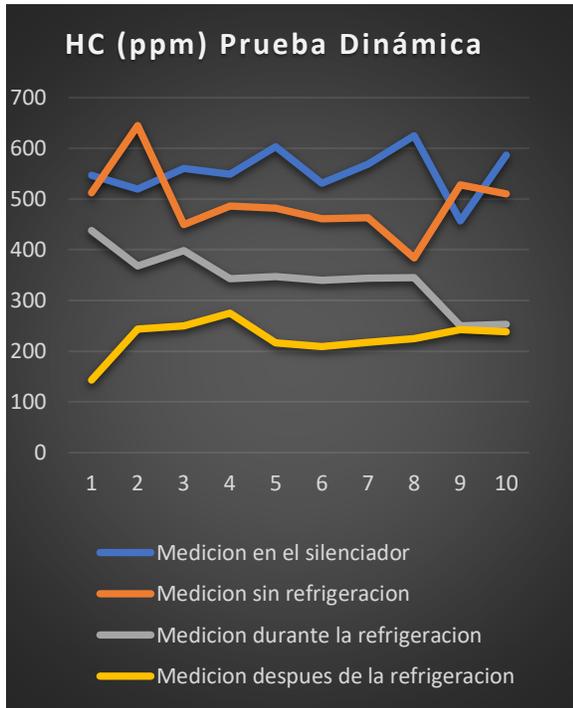


Gráfico 5: Valores de emisiones de Hidrocarburos (HC) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

Con respecto al Oxígeno se puede evidenciar claramente una gráfica con líneas invertidas debido a que la ubicación de los puntos de medición en el sistema de escape era cada vez más lejana a la cámara de combustión y además se iban acercando más a la salida o parte final del escape donde ya existe un mayor flujo de oxígeno por lo que las mediciones al ir siendo más lejanas irían aumentando el valor conforme llegaba al punto final del sistema de escape. Lo cual da como resultado ligeros decrecimientos en las curvas debido a la variación del flujo de aire en la salida del tramo final del escape.

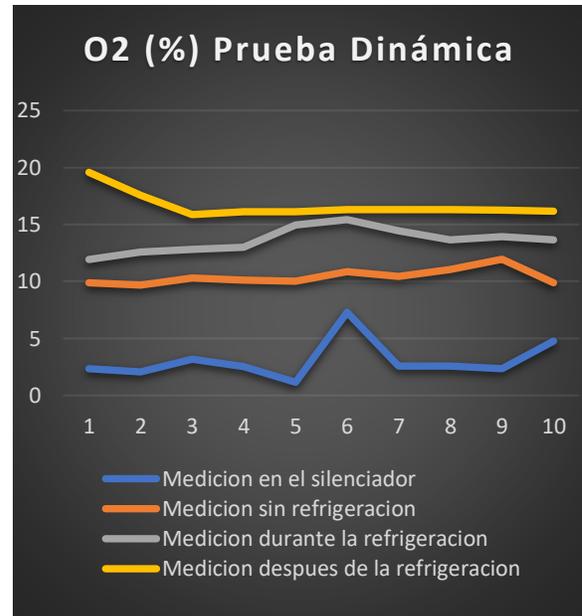


Gráfico 6: Valores de emisiones de Oxígeno (O2) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

En cuanto a los resultados de los datos analizados obtenidos en la prueba dinámica correspondiente a la Tabla 3, al refrigerar el sistema de escape del motor los datos de las emisiones indicaron cambios y después del análisis de varianza (ANOVA) se ubicaron los valores de manera estadística, para lo cual se puede notar que los NOx tuvieron una variación en sus emisiones por lo que se obtiene un promedio de 31,4 ppm referente a las emisiones en el primer punto del escape que es la entrada directa al silenciador, pero ya después de haber circulado. Con respecto a los valores obtenidos en la prueba estática que corresponde a la Tabla 4, al refrigerar el escape del motor los valores correspondientes a las emisiones se pudo evidenciar cambios notables y después de aplicar el análisis de varianza (ANOVA) se procedió a colocar los valores en forma estadística, dando como resultado los valores que indican que los NOx si tuvieron una variación debido al enfriamiento del escape en general, dando así un valor de 28,7 de promedio en el primer punto de medición que es directo al colector de escape teniendo aquí la mayor

concentración de emisiones de este gas luego en el siguiente punto que es después del colector y el silenciador del escape se obtuvo un valor de 13,4, en el siguiente punto que es donde ya se encuentra en refrigeración se obtuvo un valor de 7,9 y como último punto se tuvo un valor de 5,2. De acuerdo al análisis de varianza su Factor F de 722,07 y su factor crítico de 3,71, rechaza la hipótesis nula ya que el valor F supera al valor crítico.

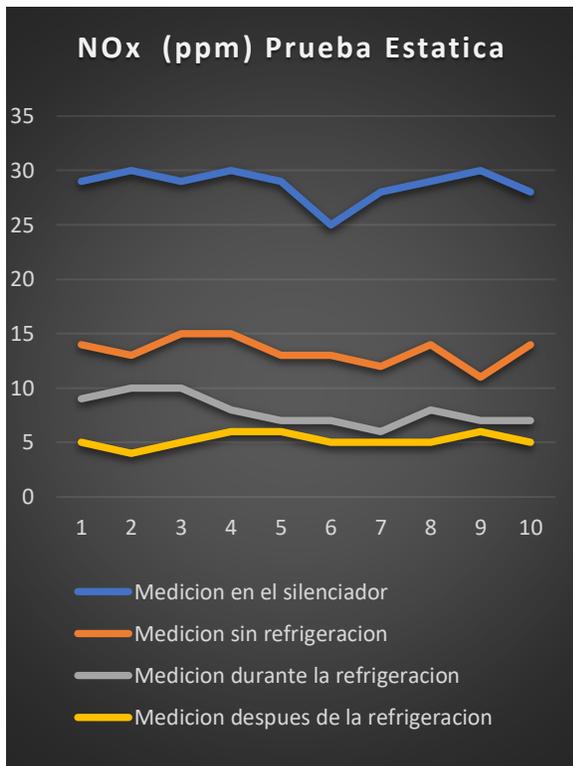


Gráfico 7: Valores de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

En la prueba estática realizada al régimen menor que es de 800 RPM's se puede comprobar que los datos obtenidos en el silenciador son más elevados siendo un factor muy importante la temperatura debido a que en este punto no existe ninguna influencia de temperatura por parte del banco de refrigeración además que un punto importante es que los NOx se producen en mayor proporción al estar la cámara de combustión con temperatura elevada

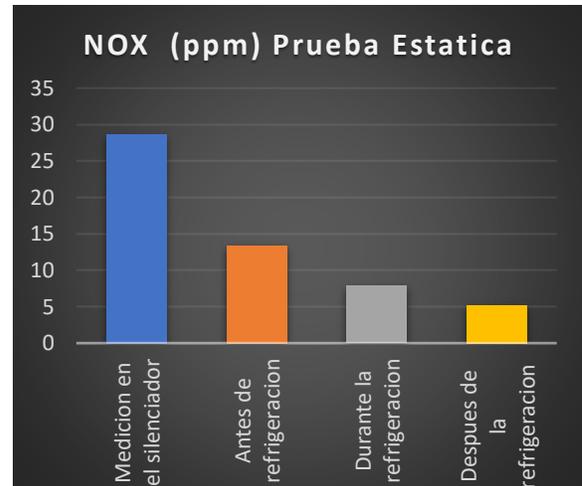


Gráfico 8: Valores promedio de Óxidos de Nitrógeno (NOx) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

En el grafico se puede observar en forma de promedio los valores de las emisiones de NOx en cada punto y se puede notar que su mayor despunte es cuando se realiza la medición de manera directa dentro del silenciador cerca al colector del escape recibiendo una lectura más directa de los gases lo cual siendo así los que tienen mayor incremento alcanzando su punto máximo con un valor de hasta 30 ppm, después existe una disminución a un promedio más reducido cuando se realizó la medición en la toma ubicada después del silenciador, también se puede notar que los valores siguen decreciendo y además en la toma ubicada en la mitad del sistema de escape es donde ya se tiene de igual manera una reducción notoria de las emisiones debido a que en este punto el tramo ya se encuentra sumergido en el banco de refrigeración y por ende se está reduciendo la temperatura, al final en el último valor ya se tiene los valores mínimos debido a que ya circularon los gases por todo el sistema y ya están cerca de la salida del escape. Con respecto al CO se puede evidenciar que también sufrió variación en el porcentaje de sus emisiones con un valor máximo de 6,12% debido a la interacción que tuvo el sistema de escape al estar refrigerado en el banco por que podemos

notar en las curvas respectivamente que hay decrecimiento en cada punto.

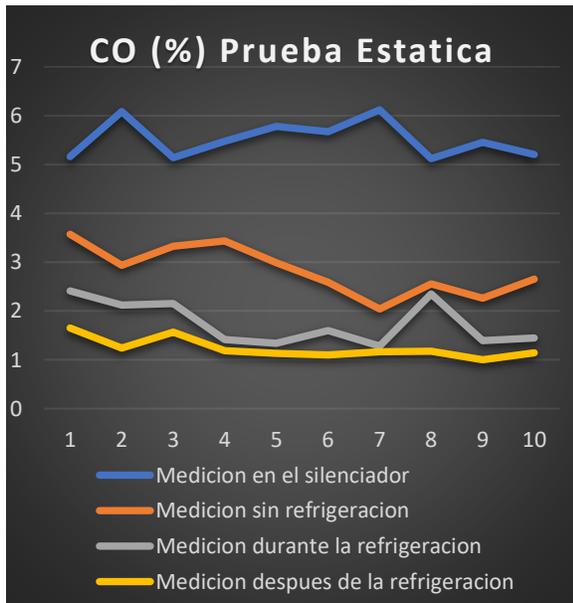


Gráfico 9: Valores de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en prueba estática

Fuente: Aguilar (2022)

En el grafico del CO₂ podemos evidenciar de igual manera un decrecimiento de hasta 8% logrando reducir los valores de las pruebas realizadas debido a que de igual manera existe una reducción de temperatura.

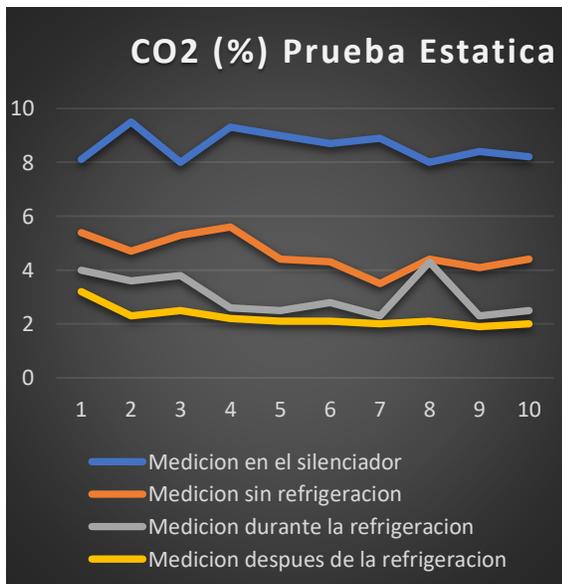


Gráfico 10: Valores de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) en prueba estática

Fuente: Aguilar (2022)

Los Hidrocarburos de igual manera tuvieron un decrecimiento en sus valores debido a que disminuye hasta 807 ppm siendo su valor más bajo, además que la concentración de estos gases varía conforme se acerca a la salida del sistema de escape.

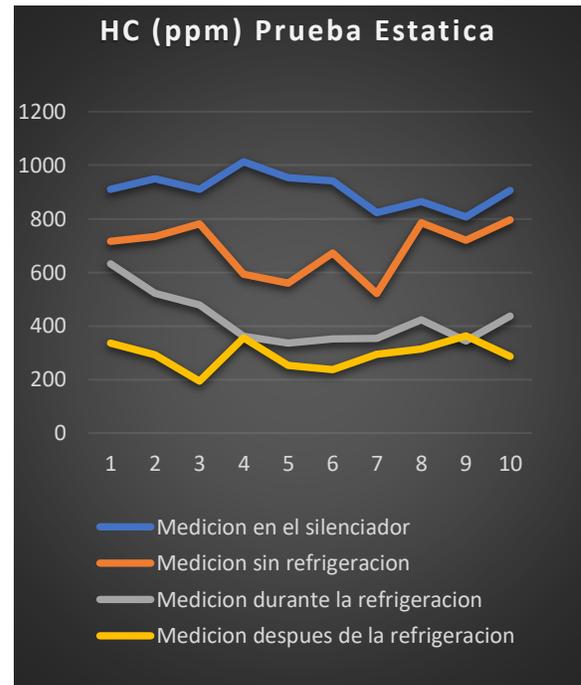


Gráfico 11: Valores de emisiones de Hidrocarburos (HC) en prueba estática

Fuente: Aguilar (2022)

Con respecto al oxígeno hay que tomar en cuenta la variación que tienen sus curvas debido a que las lecturas aumentan en lugar de reducirse debido a que cada punto de medición se sigue acercando al final del sistema de escape por lo cual se tendrá una mayor concentración de oxígeno en los puntos de medición finales. Además, que se obtiene el mismo fenómeno en las pruebas tanto dinámica como estática lo que se puede analizar que los valores al estar cerca de la salida del escape tienden a ser más irregulares debido a que las lecturas son con emisiones del sistema de escape y además con mayor presencia de oxígeno que se encuentra en el ambiente.

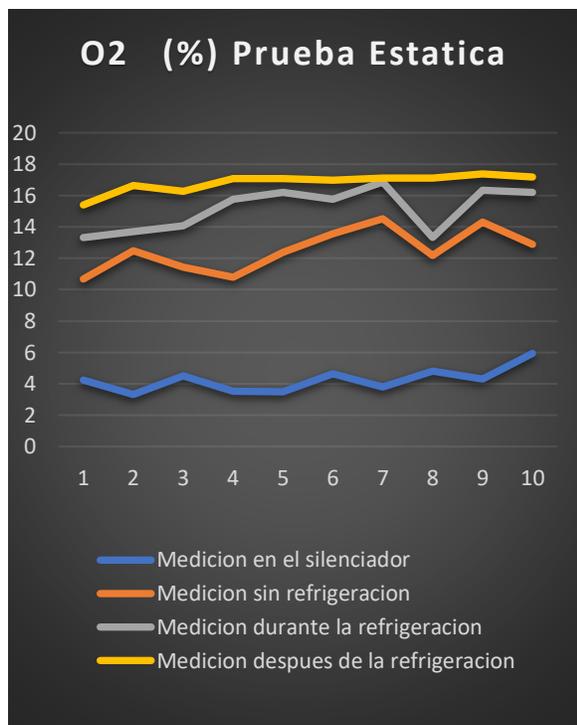


Gráfico 12: Valores de emisiones de Oxígeno (CO₂) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

Valores de emisiones del sistema de escape aplicando el banco de refrigeración en comparación a sin refrigeración.

Al efectuar una prueba diferente en la que se realizan mediciones únicamente en el punto final del sistema de escape, una prueba con 10 mediciones realizadas en el escape con temperatura normal de funcionamiento y otra prueba con 10 mediciones, pero aplicando el banco de refrigeración. La diferencia de estas pruebas es que estas son mediciones en la salida del escape con datos de manera general del recorrido por todo el escape cuando se aplicó y no el banco de refrigeración al sistema de escape por lo que aquí se podrá verificar de manera general si tiene efecto o no aplicar el banco de refrigeración en las emisiones del motor.

Tabla 5. Valores de gases sin y con refrigeración en prueba dinámica

Tipo de Gas	PRUEBA DINAMICA			
	Sin refrigeración	Después de la refrigeración	ANOVA	
			F	F. crítico
CO %	4,41	1,36	55,41	6,51
CO ₂ %	5,19	2,3	154,38	6,51
HC ppm	479,4	226	49,74	6,51
NO _x	16,7	4,9	464,13	6,51
O ₂ %	10,6	16,66	104,10	6,51

Fuente: Aguilar (2022)

En la Tabla 5 se puede verificar los valores obtenidos respectivamente por cada gas en promedio de las 10 mediciones realizadas en la prueba dinámica, por lo que al obtener cambios en los valores serán sujetos al análisis de varianza en la cual se indicara de manera estadística los cambios en los valores como en el Monóxido de carbono (CO), obteniendo un valor de 4,41 al realizar la medición en el escape a temperatura normal y un valor de 1,36 al realizar la medición cuando el sistema de escape está en el banco de refrigeración, resultando que su Factor F es de 55,41 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico. En el caso del Dióxido de carbono (CO₂) se tuvo un valor de 5,19 en la medición sin refrigeración y 2,3 después de refrigeración, resultando que su Factor F es de 154,38 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico. En los Hidrocarburos (HC) se obtiene un valor de 479,4 en la prueba sin refrigeración y 226 en la prueba con refrigeración en el sistema, resultando que su Factor F es de 49,74 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico. En los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) se obtiene un valor de 16,7 en la prueba a temperatura normal y un valor de 4,9 en la prueba con refrigeración, resultando que su Factor F es de 464,13 y su factor crítico es de 6,51

por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico. En el caso de Oxígeno se obtuvo un valor de 10,6 en la prueba sin refrigeración y un valor de 16,66 con refrigeración en el escape resultando que su Factor F es de 104,10 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico

Análisis de los gráficos

Se puede observar que los NOx son los gases que tuvieron una gran afección por la aplicación del banco de refrigeración debido a que los valores ubicados en las curvas son de manera general del sistema con y sin refrigeración por lo que indica que existe un gran efecto en las emisiones logrando un decrecimiento de un 71% en las emisiones de NOx

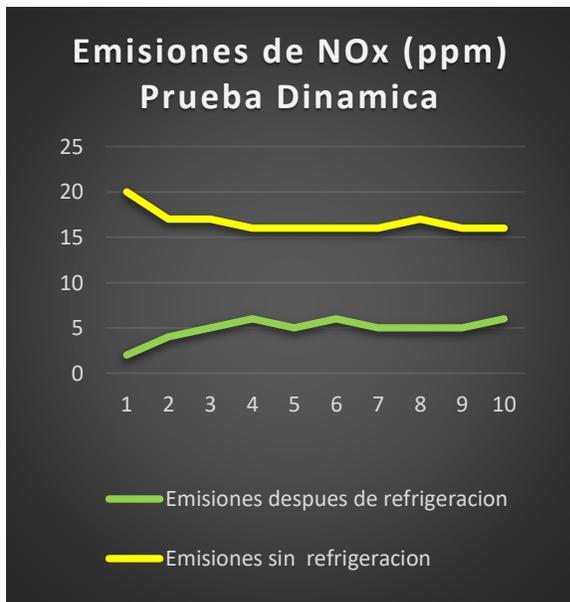


Gráfico 13: Valores de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) en prueba dinámica

Fuente: Aguilar (2022)

Analizando las curvas se puede ver de color amarillo cuando las emisiones del sistema de escape son muy elevadas debido a que representan al sistema en funcionamiento y temperatura normal de trabajo, en comparación a la curva en la parte inferior de color verde en la cual se identifica los valores de las emisiones

cuando el sistema de escape se encuentra bajo refrigeración lo cual indica un decrecimiento que resulta significativo siendo el valor mínimo 4,9% al ser un estudio experimental.

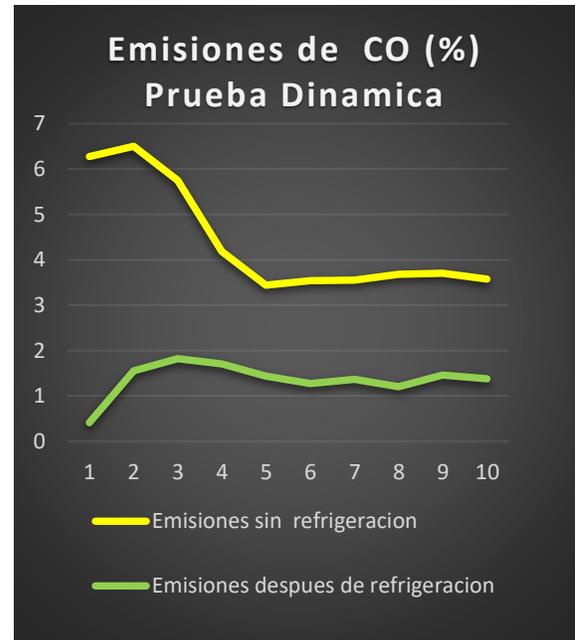


Gráfico 14: Valores de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en prueba dinámica

Fuente: Aguilar (2022)

Como se observa en las gráficas de la diferencia que existe en las emisiones de Monóxido de Carbono, de color amarillo se puede observar las emisiones cuando el sistema de escape funciona normalmente y se encuentra a temperatura normal de trabajo, indicándonos valores elevados en los cuales podemos observar según avanzan las pruebas disminuye hasta alcanzar un punto de ser más estables sus valores, en la curva de color verde se observan las emisiones más reducidas ya que en este punto el sistema de escape se encuentra en el banco de refrigeración lo cual indica un reducción en general de los valores de 0,41% en su punto mínimo.

En el caso del Dióxido de Carbono se puede ver que las curvas igual tienden a ser distintas debido a que aplicando el banco de refrigeración todo el sistema de escape es sometido a una variación de

temperatura lo cual logra evitar la elevación de estas emisiones.

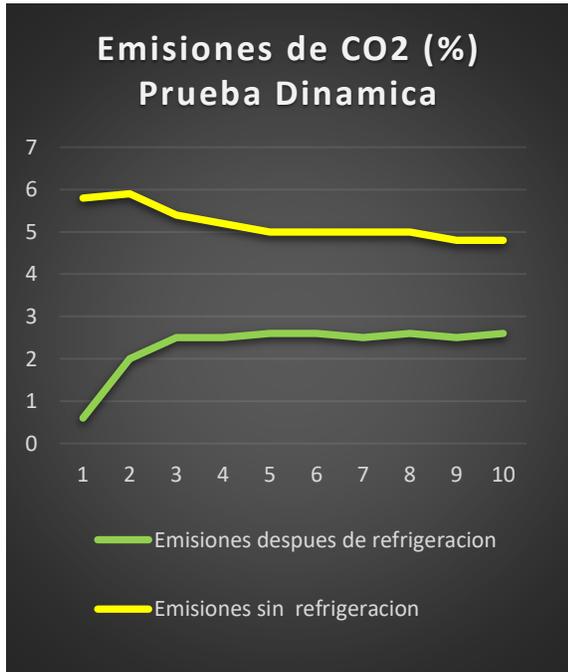


Gráfico 15: Valores de emisiones de Dióxido de Carbono (CO2) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

Se observa de igual manera las emisiones de Hidrocarburos que al estar funcionando con la temperatura normal alcanza picos con valores de emisiones no tan constantes y mayor variación entre punto y punto de medición lo cual es muy notorio en comparación a los valores de las emisiones de los otros gases contaminantes y se observa que la gráfica de las emisiones refrigerando el escape son más estables y constantes, además de que logran una mayor reducción en sus picos e indican una emisión menor de estos gases.

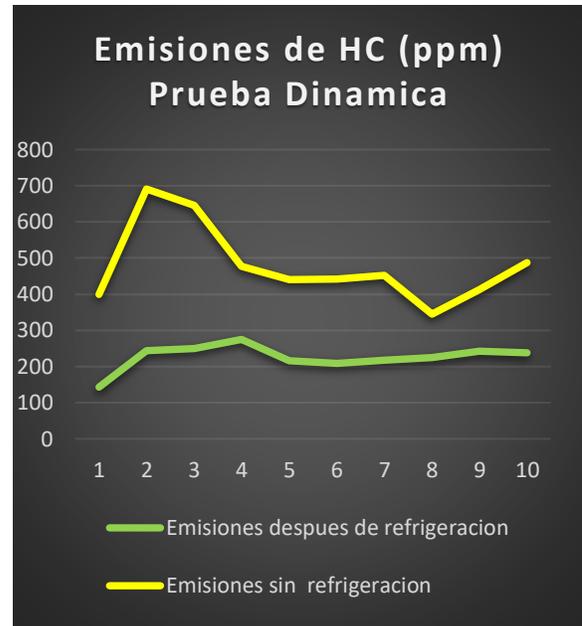


Gráfico 16: Valores de emisiones de Hidrocarburos (HC) en prueba dinámica
Fuente: Aguilar (2022)

En las emisiones de Oxígeno se puede observar que los valores son mayores cuando el sistema de escape se encuentra bajo refrigeración a diferencia de los valores obtenidos cuando el sistema se encuentra a temperatura normal de funcionamiento según el gráfico 17.

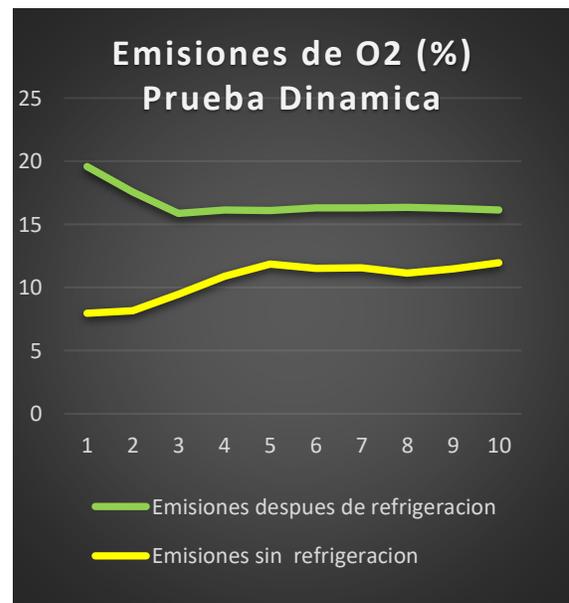


Gráfico 17: Valores de emisiones de Oxígeno (O2) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

Tabla 6. Valores de gases sin y con refrigeración en prueba estática

PRUEBA ESTÁTICA				
Tipo de Gas	Sin refrigeración	Después de la refrigeración	ANOVA	
			F	F. crítico
CO %	2,68	1,23	81,35	6,51
CO ₂ %	4,73	2,24	180,87	6,51
HC ppm	598,5	292,4	85,24	6,51
NO _x	15,9	5,2	1212,24	6,51
O ₂ %	12,17	16,82	165,95	6,51

Fuente: Aguilar (2022)

En la Tabla 6 se puede observar los valores que se obtuvieron respectivamente para cada gas con un promedio de 10 mediciones realizadas por lo que tenemos cambios en los valores que serán sujetos al análisis de varianza donde se indicará de manera estadística la variación en los valores como en el Monóxido de Carbono (CO) que se obtiene un valor de 2,68 al realizar la medición cuando el escape está en temperatura normal y un valor de 1,23 cuando el escape se encuentra en refrigeración dando y su factor F es de 81,35 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula dando que el valor F es mayor al factor crítico. En el caso del Dióxido de Carbono (CO₂) se obtuvo valores de 4,73 en la medición cuando no se tiene refrigeración y un valor de 2,24 después de que se refrigera resultando un factor F de 180,87 y como factor crítico 6.51 por lo que se rechaza la hipótesis nula. En los Hidrocarburos (HC) se obtiene un valor de 598,5 en la prueba sin refrigeración y 292,4 en la prueba con refrigeración en el sistema, resultando que su Factor F es de 85,24 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula. En los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) se obtiene un valor de 15,9 en la prueba a temperatura normal y un valor de 5,2 en la prueba con refrigeración, resultando que su Factor F es de 1212,24 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico. En el caso de Oxígeno se obtuvo un

valor de 12,17 en la prueba sin refrigeración y un valor de 16,82 con refrigeración en el escape resultando que su Factor F es de 165,95 y su factor crítico es de 6,51 por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo que el valor F es mayor al factor crítico.

Análisis de los gráficos

En los NO_x tuvieron una gran variación por la aplicación del banco de refrigeración debido a que los valores ubicados en las curvas son de manera general del sistema con y sin refrigeración por lo que indica que existe un gran efecto en las emisiones logrando un decrecimiento notorio en las emisiones de NO_x aun teniendo en cuenta que estos valores son de las emisiones en bajas revoluciones.

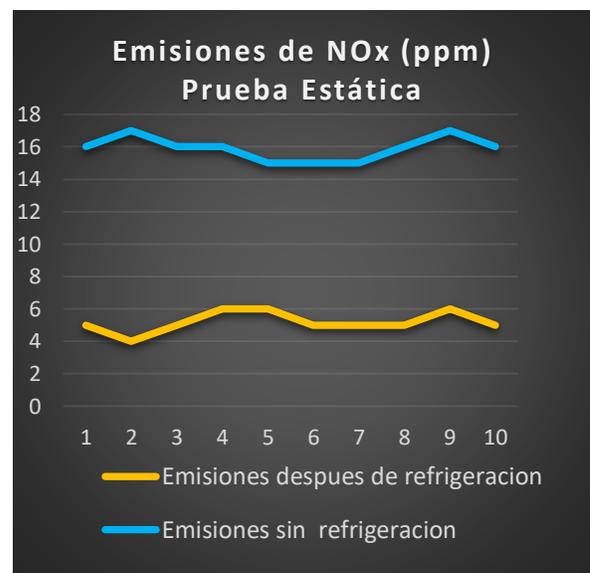


Gráfico 18: Valores de emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) en prueba estática

Fuente: Aguilar (2022)

En las emisiones de Monóxido de Carbono, de color azul se puede observar las emisiones cuando el sistema de escape funciona normalmente y se encuentra a temperatura normal de trabajo, indicándonos valores elevados en los cuales podemos observar según avanzan las pruebas disminuye hasta alcanzar ciertos picos en los valores, pero en la curva de color

amarillo se puede ver que las emisiones son más estables y constantes

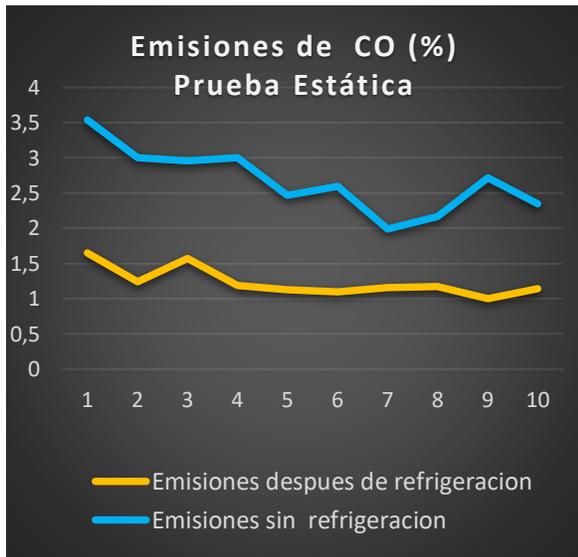


Gráfico 19: Valores de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

En el Dióxido de carbono se puede notar que las dos curvas tienden a decrecer conforme pasan las pruebas de medición, además que la curva cuando esta refrigerado es más constante y con menos picos en sus puntos

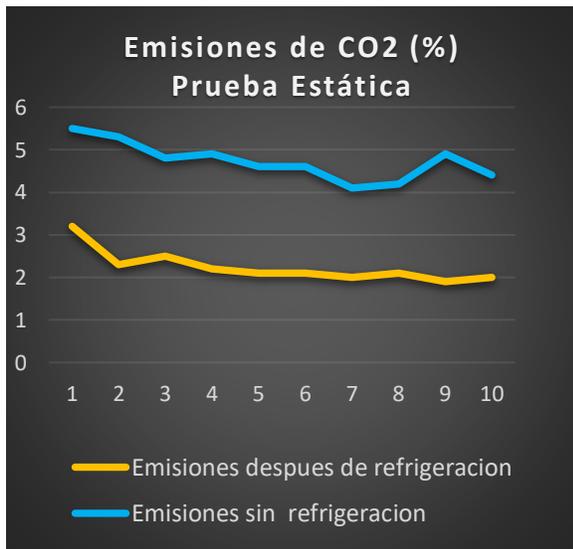


Gráfico 20: Valores de emisiones de Dióxido de Carbono (CO2) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

En el caso de los Hidrocarburos se puede apreciar que las dos curvas tienen picos entre los puntos de temperatura por lo que es similar el fenómeno que se produce en este gas tanto en prueba estática como dinámica.

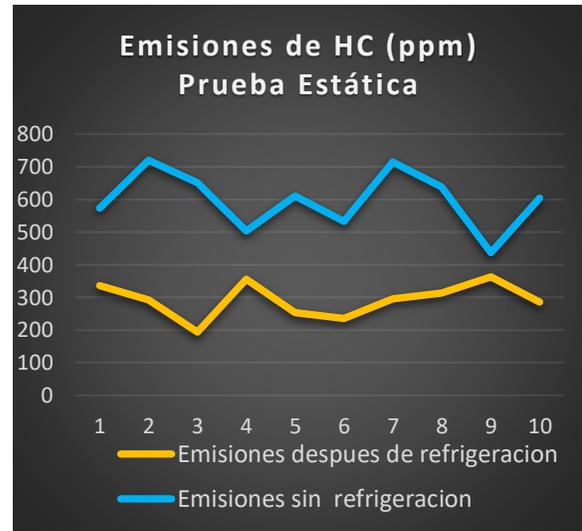


Gráfico 21: Valores de emisiones de Hidrocarburos (HC) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

El Oxígeno puede indicar un factor en el cual indica en las dos curvas que se está elevando por lo que además tiene un efecto contrario a la prueba dinámica, ya que la curva con valores de más emisiones es la que ha sido refrigerando el sistema.

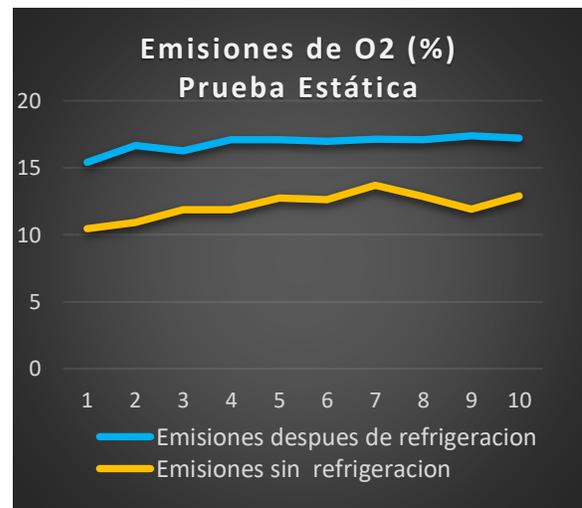


Gráfico 22: Valores de emisiones de Oxígeno (O2) en prueba estática
Fuente: Aguilar (2022)

4. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado los respectivos ensayos con las diferentes pruebas de medición, se pudo comprobar que la variación de temperatura entre el silenciador (93,7°C) hasta el tramo final del escape (17,3°C) por la aplicación de un banco de refrigeración permite mitigar las emisiones en cierto porcentaje considerable, ya que el sistema de escape al estar siendo refrigerado de manera constante no permite que los valores de las emisiones se eleven, como es el caso más notorio de los óxidos de nitrógeno los cuales presentan una reducción de un 71% en sus emisiones en la prueba realizada a 2500 RPM 's, el motivo de esto se debe a que las emisión NOx es caracterizada por ser a elevadas temperaturas y dependiendo de ciertos parámetros adicionales como RPM's y tipo de dispersión de calor, por otra parte se observa una reducción significativa de los demás gases como el CO tuvo un porcentaje de reducción de 69%, el CO2 un porcentaje de 56% de reducción en sus valores, en los Hidrocarburos se tuvo un descenso de 53 % que resulta significativo para el nivel de emisión de contaminación de este tipo de motor, en el caso de Oxígeno se tuvo una elevación considerable que puede servir como objeto de estudio o investigación futura, ya que sus valores se elevaron cuando el sistema de escape se encontraba bajo refrigeración con un 57% de crecimiento.

Tabla 7. Valores de gases en el sistema sin y con refrigeración general en prueba dinámica

PRUEBA DINAMICA			
Tipo de Gas	Sin refrigeración	Después de la refrigeración	PORCENTAJE
CO %	4,418	1,361	-69 %
CO2 %	5,19	2,3	-56 %
HC ppm	479,4	226	-53 %
NOx	16,7	4,9	-71 %
O2 %	10,6	16,667	57 %

Fuente: Aguilar (2022)

En la prueba realizada a 800 RPM's de igual manera se puede observar que el gas con mayor afectación son los NOx con un valor de decrecimiento de 67% ya que como se mencionó este gas se caracteriza por la temperatura de generación, por lo cual es el que más resulta afectado por la refrigeración, con respecto a los demás gases se tuvo también decrecimientos porcentuales significativos teniendo en el CO UN 54% en el CO2 UN VALOR DE 53% en los HC un valor de 51 % y de manera similar a la prueba dinámica se presenta que el Oxígeno tiene una elevación en sus valores de un 38% lo cual habría que definir con futuros estudios si resulta beneficioso o perjudicial la elevación de producción de este gas teniendo en cuenta que este gas no resulta nocivo o afectante para la salud.

Tabla 8. Valores de gases sin y con refrigeración general en prueba estática

PRUEBA ESTATICA				
Tipo de Gas	Sin refrigeración	Después de la refrigeración	PORCENTAJE	
CO %	2,68	1,235	-54	%
CO2 %	4,73	2,24	-53	%
HC ppm	598,5	292,4	-51	%
NOx	15,9	5,2	-67	%
O2 %	12,179	16,826	38	%

Fuente: Aguilar (2022)

Para determinar si estos cambios son significativos se sometieron los valores obtenidos al Análisis de Varianza ANOVA, dando como dato si estas variaciones resultan significativas, ya sea de forma positiva o negativa, resultando importante para afirmar o negar de manera estadística numérica un argumento planteado, dando resultados y valores muy interesantes y significativos que demuestran la presencia de NOx en la combustión de un motor de ciclo otto

y se pueden considerar como hallazgos ya que se logró una reducción de un 71% de emisiones de NO_x teniendo un valor máximo de emisión de 16,7 ppm, obteniendo un valor mínimo de 4,9 ppm en prueba dinámica y un valor máximo de 15,9 ppm y mínimo de 5,2 ppm en prueba estática, indicando que es un investigación de campo realizada con el banco de pruebas de emisiones de manera demostrativa para cada una de sus mediciones..

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. A. M. Abian, «DIGITAL.CSIC,» Grupo Español del Carbón, Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10261/110627>. [Último acceso: 21 Junio 2022].

A. W. J. C. C. F. B. R. & N. M. Prüss-Üstün, Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks., Francia

E. K. M. Palacios, «La contaminación del aire, un problema de todos,» *Revista de la Facultad de Medicina de Bogota*, vol. 67, n° 2, pp. 189,190, Junio 2019.

E. S. Labastida, «REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SO_x Y NO_x MEDIANTE NANOTUBOS DE CARBONO,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/13929/1/419712.pdf>. [Último acceso: 22 Junio 2022].

C. M. C. E. R. Meliton Estrada, «Simulación Numérica del Proceso de Requemade de Gases para la Reducción de Óxidos de Nitrógeno (NO_x),» *Creative Commons*, vol. 17, n° 1, pp. 1-2, 2005.

Z. B. J. M. M. N. J. Wojtas, «Sensor Optoelectronic para la detección de NO_x,» 23-27 Marzo 2009. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/29491152/Optoelectronic_sensor_for_NOx_detection_pdf. [Último acceso: 22 Junio 2022].

A. M. A. M, «Minimización de emisiones de NO_x y hollín en procesos de combustión,» *Grupo Español del Carbón*, vol. Disponible: <http://hdl.handle.net/10261/110627>, n° Consultado el 21 de Junios del 2022, p. 2, 2014.

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Analizar la variación de emisiones de NOx en un motor de combustión refrigerando el sistema de escape en un banco de pruebas, para verificar los valores obtenidos con un analizador de gases en distintos puntos del escape.

Objetivos Específicos

- Considerar rangos determinados en la carga de motor para lograr obtener una cantidad necesaria de emisiones NOx que nos permita la toma de valores con el equipo de medición.
- Efectuar mediciones sucesivas en distintos puntos del sistema de escape, llevando a cabo un proceso estadístico de los valores obtenidos para ser analizados.
- Fijar cuales son los puntos estratégicos para realizar las mediciones antes, durante y después de la refrigeración para comprobar si existe una variación de valores representativa

Pregunta de investigación

¿En qué régimen de carga del motor se van a realizar las mediciones?

¿En qué puntos del sistema de escape se harán las mediciones?

¿Cómo se hará la toma de mediciones con el sensor de NOx?

Fundamentación del Problema

Esta investigación tiene la finalidad de ayudar en los estudios de que se enfocan en la reducción de emisiones contaminantes y entre ellos los NOx que son gases que se generan a altas temperaturas en los motores de combustión interna y son causantes de graves enfermedades respiratorias, ya que con la ayuda de un banco de refrigeración se pretende disminuir la temperatura del sistema de escape buscando así la variación de estos gases logrando tener valores reducidos de las emisiones. Dando como resultado minimizar la exposición de la ciudadanía a la contaminación de estos gases en una ciudad como Quito situada a 2850 metros sobre el nivel del mar

Posible Hipótesis

La emisión de gases de NOx son producidas por las altas temperaturas que produce el trabajo de los motores de combustión interna, por lo que si refrigeramos todo el sistema de escape por donde circulan los gases hacia el medio exterior podremos tener una reducción de temperatura lo cual dará como resultado la variación y posible reducción de las emisiones de NOx

Anexo 1

M. A. M. Abian, «DIGITAL.CSIC,» Grupo Español del Carbón, diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10261/110627>. [Último acceso: 21 junio 2022].

Anexo 2

W. J. C. C. F. B. R. & N. M. Prüss-Üstün, Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks., Francia: Vivien Store, 2016.

Anexo 3

E. K. M. Palacios, «La contaminación del aire, un problema de todos,» Revista de la Facultad de Medicina de Bogota, vol. 67, n° 2, pp. 189,190, junio 2019.

Anexo 4

E. S. Labastida, «REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SOx Y NOx MEDIANTE NANOTUBOS DE CARBONO,» diciembre 2013. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfendmkaj/http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/13929/1/419712.pdf](http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/13929/1/419712.pdf). [Último acceso: 22 junio 2022].

ANEXOS FUNDAMENTACION TEORICA

Anexo 5

C. M. C. E. R. Melitón Estrada, «Simulación Numérica del Proceso de Requemado de Gases para la Reducción de Óxidos de Nitrógeno (NOx),» Creative Commons, vol. 17, n° 1, pp. 1-2, 2005.

Anexo 6

Z. B. J. M. M. N. J. Wojtas, «Sensor Optoelectronic para la deteccion de NOx,» 23-27 marzo 2009. [En línea]. Available:

https://www.academia.edu/29491152/Optoelectronic_sensor_for_NOx_detection_pdf. [Último acceso: 22 junio 2022].

Anexo 7

A. M. A. M, «Minimización de emisiones de NO_x y hollín en procesos de combustión,» Grupo Español del Carbón, vol. Disponible: <http://hdl.handle.net/10261/110627>, nº Consultado el 21 de junio del 2022, p. 2, 2014.

Anexo 8

B. F. S. Forteza, «ANÁLISIS Y METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LOS GASES NO_x,» septiembre 2017. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/188487/An%C3%A1lisis%20y%20Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20Reducci%C3%B3n%20de%20los%20Gases%20NOx%20%20%20\(2\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/188487/An%C3%A1lisis%20y%20Metodolog%C3%ADa%20para%20la%20Reducci%C3%B3n%20de%20los%20Gases%20NOx%20%20%20(2).pdf). [Último acceso: 22 junio 2022].

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Metodología Aplicada

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

Análisis de Varianza ANOVA 1

El ANOVA es un conjunto de herramientas o técnicas de método estadístico, siempre siendo aplicado cuando se requiera comparación entre dos grupos, teniendo en cuenta que es cuando hay mediciones repetidas en más de dos veces, además los sujetos cambian sus características y pueden influir en el resultado y por ende se requiere ajustar la influencia que hay además de analizar los tratamientos existentes.

La forma más simple es el llamado ANOVA de ella. una vía o factor, cuando existe una variable independiente que separa a los sujetos y dos o más niveles (que definen los grupos) (J. Dagnino, 2014)

El Análisis de la Varianza se puede determinar como un caso de un modelo econométrico en donde las variables son ficticias y la variable dependiente es de tipo continuo. En estas situaciones la asignación del modelo conlleva al análisis de varianza, que es de un uso muy práctico y común en estudios y diseños. Una manera más amplia de expresarlo es cuando disponemos una serie de variables de control y nos da la oportunidad de corregir el resultado mediante el análisis de la covariación dependiendo la variable a estudiar (Otero, J., Sánchez, A. H., & Moral, E. M, 2005).

Metodología utilizada en la Investigación

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

Bibliografía

J. Dagnino (2014) “ANÁLISIS DE VARIANZA.” [Online]. Available: <http://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>

Otero, J., Sánchez, A. H., & Moral, E. M. (2005). Análisis de la varianza (ANOVA). DOCPLAYER. Obtenido de <https://docplayer.es/10487925-Analisis-de-la-varianzaanova-jose-vicens-otero-ainhoa-herrarte-sanchez-eva-medina-moral.html>.

Anexo 9

Equipos Utilizados en la Investigación

MOTOR	Marca	Honda	
	Modelo	GX160	
	Motor	4 tiempos Mono cilíndrico OHV	
	Cilindraje	163cc	
	Potencia	5.5hp @3600rpm	
	Torque máximo	1,1 Kgf.m @2500rpm	
ANALIZADOR DE GASES	CO	De 0 A 9.99 % vol. CO2 De 0 A 1	
	CO2	De 0 A 19.9 % vol.	
	HC	De 0 A 9999 ppm	
	O2	De 0 A 25 % vol.	
	Lambda	De 0.5 A 5	
	Revoluciones	De 300 A 9990 rpm	
TACOMETRO DIGITAL	Rango de medición:	De 2.5 a 99,999 RPM	
	Resolución	0.1 RPM	
	Precisión	-+0.05%	
	Registro de datos	0.8 seg	

Anexo 10

Proceso explicado a detalle para la toma de datos de emisiones del motor mediante el uso del equipo para análisis de gases AGS 688, detallando paso por paso el procedimiento

Paso 1.

Como primer paso se procede a encender la máquina, mantenemos pulsado el botón de encendido de color rojo, luego de que aparezca el mensaje MEDICION DE GASOLINA procederemos a presionar el botón ENTER



Paso 2.

El siguiente paso es esperar que la maquina indique la información del software y procedemos a presionar el botón ENTER



Paso 3.

Se espera que aparezca un mensaje de indicación en la maquina CALENTAMIENTO POR FAVOR ESPERE para lo cual se tiene que esperar hasta que la máquina de la siguiente indicación, debemos tener en cuenta que la sonda debe estar expuesta al ambiente para que cumpla este proceso.



Paso 4.

Después que el equipo se haya concluido el calentamiento aparecerá un mensaje para la PRUEBA DE ESTANQUEIDAD y para lo cual se debe cerrar la sonda introduciéndola en su alojamiento



Paso 5.

Al iniciar la prueba de estanqueidad es necesario verificar que la sonda se encuentra adecuadamente incrustada en su alojamiento para poder ver que no haya averías o fugas lo cual pueda causar mediciones incorrectas o erróneas, después se indica un mensaje cuando el proceso haya culminado el que dirá PRUEBA DE ESTANQUEIDAD ACABADO



Paso 6.

Después se indicará un mensaje que dirá AUTO CERO EN CURSO para lo cual se debe mantener la sonda en su alojamiento hasta que culmine este proceso.



Paso 7.

Luego de haber terminado este ciclo aparecerá la indicación TEST HC RETIRE LA SONDA, para lo cual se va a extraer la sonda de su alojamiento para continuar al siguiente paso



Paso 8.

Como último se indicará el mensaje TEST HC EN CURSO, lo que tendremos que esperar que se complete hasta que la maquina empiece de a dar lectura de los valores que da la sonda.



Paso 9.

Para dar inicio a las mediciones hay que tener en cuenta que en la máquina de gases debe ser activada la opción para la lectura de valores de NOx, aplastando el botón que da la opción para lectura de valores de Lambda o NOx



Paso 10.

Después se procede a colocar un marcador de RPM's que utiliza una cinta reflectante para medir las revoluciones del motor y luego se ubica el tacómetro digital a una distancia del motor para su posterior lectura.



Paso 11.

Para comenzar con las mediciones es necesario asegurarse de que el motor se encuentra a temperatura adecuada de funcionamiento para lo cual se verificara con ayuda de un termómetro infrarrojo digital.



Paso 12.

Ya con el equipo en funcionamiento y el motor a temperatura de trabajo se procede a colocar la sonda en el punto de medición que se necesite medir asegurándose de que la sonda con la toma del escape se encuentre lo más sellado posible para obtener una lectura de gases más clara y precisa. Además de que se debe esperar que la máquina estabilice la lectura para empezar las mediciones.



Paso 13.

Ya con la sonda colocada se procede a esperar que se estabilicen los valores de los gases y aceleramos el motor a 2500 RPM's de manera constante para empezar la prueba de carga constante por un tiempo que será de 15 segundos, luego capturamos los valores y se procede a dejar de acelerar y se contara 30 segundos para la prueba estática y así se repetirán las pruebas teniendo en cuenta que debe tener intervalos de tiempo entre cada lectura



Paso 14.

Para continuar con las mediciones se colocará los contenedores de líquido en la parte inferior del sistema de escape asegurándose de se encuentren a una distancia adecuada y también se conectará el sistema de bombas de líquido para recircular el líquido entre contenedores.



Paso 15.

Para continuar con las mediciones se verificará la temperatura del líquido para comprobar que variación existe durante el proceso de refrigeración teniendo en cuenta que al tener instalado dos bombas esto hará que el líquido este en constante movimiento evitando que la temperatura suba muy rápido



Paso 16.

Después se ira haciendo medición de cada punto en el escape para ir verificando la temperatura que alcanza para las mediciones desde la cámara de combustión hasta la salida final del sistema de escape



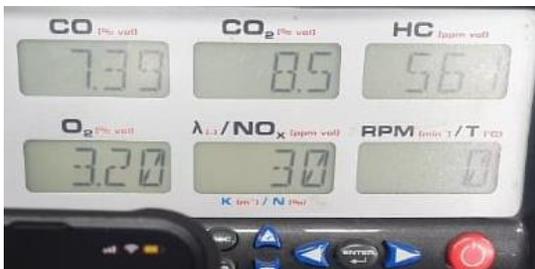
Paso 17.

Ya en este punto se procede a realizar la toma de valores en los puntos del sistema de escape restantes para completar las mediciones.



Anexo 11

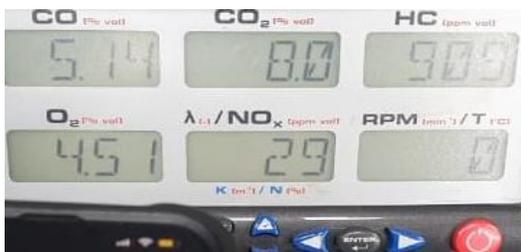
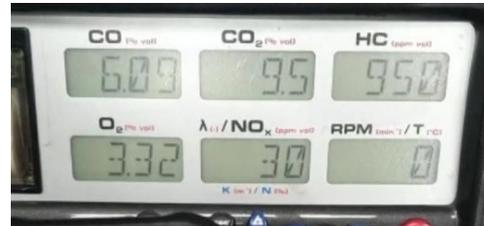
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.
Primer punto de medición



Anexo 12

Imágenes prueba estática 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.

Primer punto de medición



Anexo 13

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

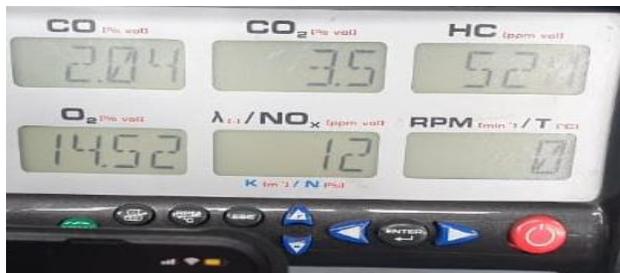
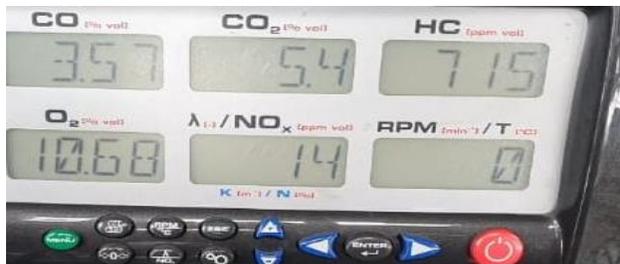
Segundo punto de medición



Anexo 14

Imágenes prueba estática 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.

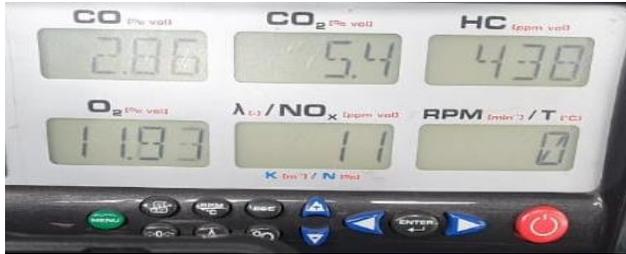
Segundo punto de medición



Anexo 15

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

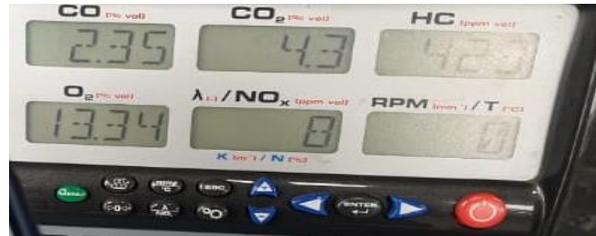
Tercer punto de medición



Anexo 16

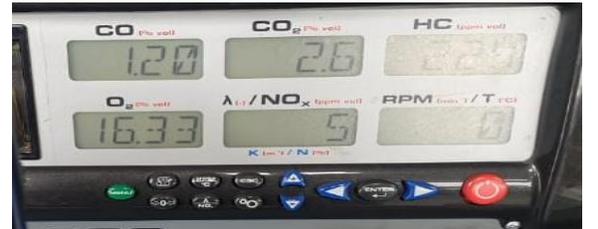
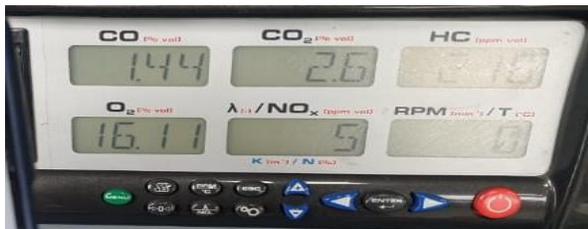
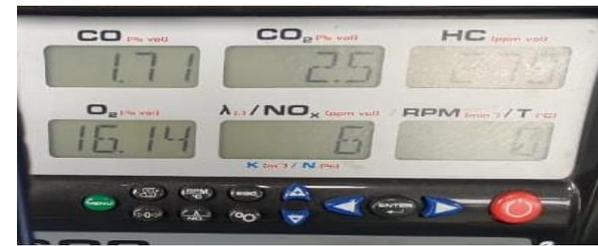
Imágenes prueba estática 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.

Tercer punto de medición



Anexo 17

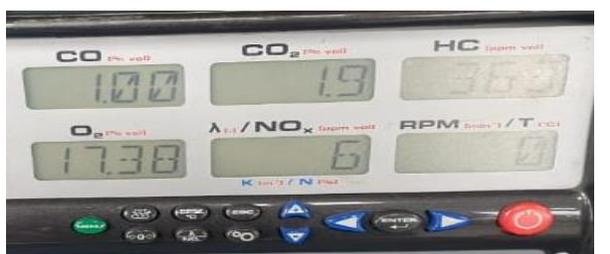
Imágenes prueba Dinámica 2500Rpm, en los 10 ciclos de la toma de datos.
Cuarto punto de medición



Anexo 18

Imágenes prueba estática 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.

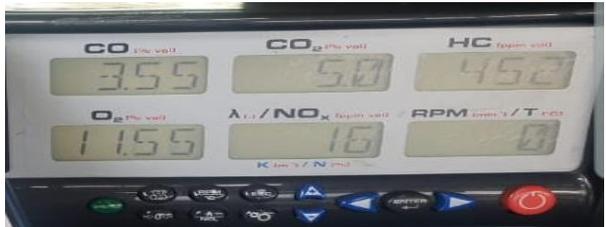
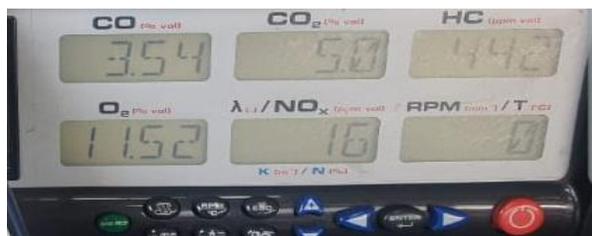
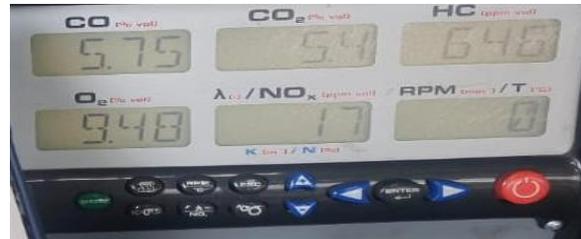
Cuarto punto de medición



Anexo 19

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

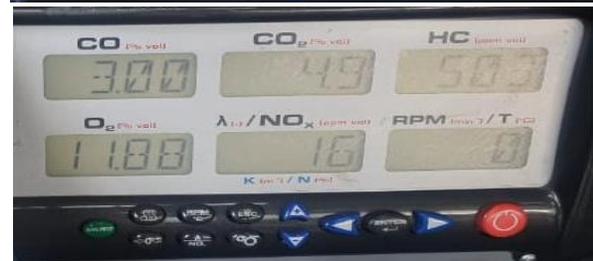
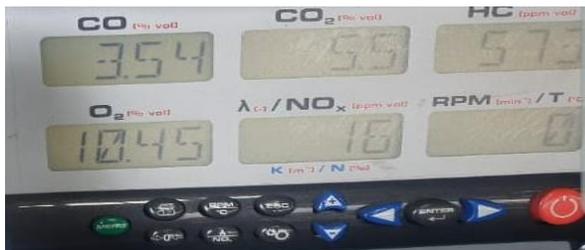
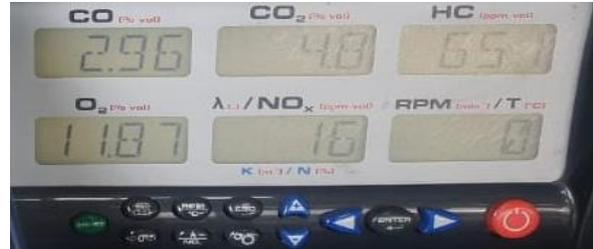
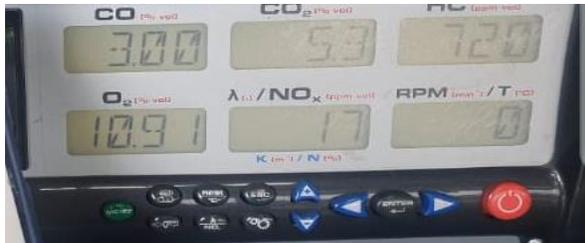
Quinto punto de medición



Anexo 20

Imágenes prueba estática 800RPM s, en los 10 ciclos de la toma de datos.

Quinto punto de medición



Normativas.

Para poder realizar las mediciones de las emisiones y obtener los datos en esta investigación se basó en los parámetros de la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349, 2 203 y 2204 con las cuales se realizó el procedimiento necesario para la toma de los datos, a continuación se adjuntará las normativas correspondientes.

Anexo 21

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 349. Revisión Técnica Vehicular. Disponible: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2349.pdf>

Anexo 22

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “Ralentí”. Prueba estática Disponible: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2203.pdf>

Anexo 23

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 204. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres gasolina Disponible: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 24

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

CO (%)										
Toma del Silenciador	7,06	8,32	7,39	7,23	8,34	5,46	6,01	7,24	7,01	6,69
Toma antes de refrigeración	5,57	5,61	3,28	3,12	3,64	4,1	4,45	3,44	3,08	4,51
Toma durante refrigeración	2,86	2,32	2,7	2,57	2,36	2,26	2,93	3,17	2,07	2,03
Toma después de refrigeración	0,41	1,55	1,82	1,71	1,44	1,27	1,37	1,2	1,46	1,38

CO ₂ (%)										
Toma del Silenciador	9,4	8,7	8,5	9,2	9,4	6,7	9,9	9,1	9,4	7,8
Toma antes de refrigeración	4,6	4,7	5,9	6	5,8	5,2	5,1	5,5	4,9	5,6
Toma durante refrigeración	5,4	4,6	4,3	4,3	3	2,7	3,1	3,4	4	4
Toma después de refrigeración	0,6	2	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6

HC (ppm)										
Toma del Silenciador	547	520	561	549	603	531	569	625	457	587
Toma antes de refrigeración	512	645	450	486	482	461	463	384	528	510
Toma durante refrigeración	438	368	398	343	347	340	344	345	250	253
Toma después de refrigeración	143	244	250	275	216	209	217	225	243	238

NO _x (ppm)										
Toma del Silenciador	36	30	30	32	32	27	33	30	36	28
Toma antes de refrigeración	13	15	16	18	17	14	13	15	15	14
Toma durante refrigeración	11	11	11	11	7	7	7	6	8	8
Toma después de refrigeración	2	4	5	6	5	6	5	5	5	6

O ₂ (%)										
Toma del Silenciador	2,32	2,04	3,2	2,51	1,15	7,29	2,56	2,58	2,32	4,77
Toma antes de refrigeración	9,88	9,68	10,3	10,13	10,04	10,84	10,43	11,07	11,95	9,87
Toma durante refrigeración	11,93	12,58	12,83	12,98	14,94	15,43	14,46	13,65	13,93	13,65
Toma después de refrigeración	19,58	17,58	15,87	16,14	16,11	16,32	16,32	16,33	16,26	16,16

Anexo 25

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

CO (%)										
Toma del Silenciador	5,16	6,09	5,14	5,48	5,78	5,67	6,12	5,12	5,45	5,21
Toma antes de refrigeración	<u>3,57</u>	<u>2,93</u>	<u>3,33</u>	<u>3,43</u>	<u>2,99</u>	<u>2,59</u>	<u>2,04</u>	<u>2,55</u>	<u>2,26</u>	<u>2,65</u>
Toma durante refrigeración	2,41	2,12	2,15	1,41	1,34	1,6	1,28	2,35	1,39	1,45
Toma después de refrigeración	1,65	1,24	1,57	1,19	1,13	1,1	1,16	1,17	1	1,14

CO2 (%)										
Toma del Silenciador	8,1	9,5	8	9,3	9	8,7	8,9	8	8,4	8,2
Toma antes de refrigeración	5,4	4,7	5,3	5,6	4,4	4,3	3,5	4,4	4,1	4,4
Toma durante refrigeración	4	3,6	3,8	2,6	2,5	2,8	2,3	4,3	2,3	2,5
Toma después de refrigeración	3,2	2,3	2,5	2,2	2,1	2,1	2	2,1	1,9	2

HC (ppm)										
Toma del Silenciador	909	950	909	1013	953	941	823	865	807	905
Toma antes de refrigeración	715	733	782	594	559	673	521	785	719	796
Toma durante refrigeración	632	522	478	362	336	352	353	423	343	437
Toma después de refrigeración	336	292	194	355	253	236	295	314	363	286

NOx (ppm)										
Toma del Silenciador	29	30	29	30	29	25	28	29	30	28
Toma antes de refrigeración	14	13	15	15	13	13	12	14	11	14
Toma durante refrigeración	9	10	10	8	7	7	6	8	7	7
Toma después de refrigeración	5	4	5	6	6	5	5	5	6	5

O2 (%)										
Toma del Silenciador	4,22	3,32	4,51	3,52	3,5	4,63	3,79	4,81	4,32	5,94
Toma antes de refrigeración	10,68	12,5	11,43	10,78	12,37	13,58	14,52	12,18	14,32	12,89
Toma durante refrigeración	13,32	13,71	14,08	15,77	16,21	15,75	16,86	13,34	16,35	16,21
Toma después de refrigeración	15,4	16,65	16,26	17,09	17,09	16,97	17,13	17,1	17,38	17,19

Anexo 26

Tablas descriptiva de los datos, de la prueba dinamica a 2500 Rpm

PRUEBA DINAMICA

CO Sin refrigeración	6,27	6,5	5,75	4,18	3,44	3,54	3,55	3,68	3,7	3,57
CO Con refrigeración	0,41	1,55	1,82	1,71	1,44	1,27	1,37	1,2	1,46	1,38
CO2 Sin refrigeración	5,8	5,9	5,4	5,2	5	5	5	5	4,8	4,8
CO2 Con refrigeración	0,6	2	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6
HC Sin refrigeración	400	691	646	477	440	442	452	345	413	488
HC Con refrigeración	143	244	250	275	216	209	217	225	243	238
NOx Sin refrigeración	20	17	17	16	16	16	16	17	16	16
NOx Con refrigeración	2	4	5	6	5	6	5	5	5	6
O2 Sin refrigeración	7,96	8,16	9,48	10,89	11,86	11,52	11,55	11,16	11,46	11,96
O2 Con refrigeración	19,58	17,58	15,87	16,14	16,11	16,32	16,32	16,33	16,26	16,16

Anexo 27

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

PRUEBA ESTATICA

CO Sin refrigeración	3,54	3	2,96	3	2,47	2,6	1,99	2,17	2,72	2,35
CO Con refrigeración	1,65	1,24	1,57	1,19	1,13	1,1	1,16	1,17	1	1,14
CO2 Sin refrigeración	5,5	5,3	4,8	4,9	4,6	4,6	4,1	4,2	4,9	4,4
CO2 Con refrigeración	3,2	2,3	2,5	2,2	2,1	2,1	2	2,1	1,9	2
HC Sin refrigeración	573	720	651	503	611	532	715	639	437	604
HC Con refrigeración	336	292	194	355	253	236	295	314	363	286
NOx Sin refrigeración	16	17	16	16	15	15	15	16	17	16
NOx Con refrigeración	5	4	5	6	6	5	5	5	6	5
O2 Sin refrigeración	10,45	10,91	11,87	11,88	12,72	12,63	13,69	12,84	11,92	12,88
O2 Con refrigeración	15,4	16,65	16,26	17,09	17,09	16,97	17,13	17,1	17,38	17,19

Anexo 28

Análisis Estadístico

Para llevar a cabo este análisis estadístico se va a emplear el análisis de varianza ANOVA1 respectivamente de cada gas, con los valores indicados en la Tabla

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	70,75	7,075	0,799538889
Sin refrigeración	10	40,8	4,08	0,894222222
Durante refrigeración	10	25,27	2,527	0,146267778
Después de refrigeración	10	13,61	1,361	0,147032222

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	183,6711275	3	61,22370917	123,2447434	5,43254E-19	3,713964212
Dentro de los grupos	17,88355	36	0,496765278			
Total	201,5546775	39				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	88,1	8,81	0,894333333
Sin refrigeración	10	53,3	5,33	0,253444444
Durante refrigeración	10	38,8	3,88	0,690666667
Después de refrigeración	10	23	2,3	0,388888889

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	231,438	3	77,146	138,5441485	7,92933E-20	3,713964212
Dentro de los grupos	20,046	36	0,556833333			
Total	251,484	39				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	5549	554,9	2218,322222
Sin refrigeración	10	4921	492,1	4532,766667
Durante refrigeración	10	3426	342,6	3272,488889
Después de refrigeración	10	2260	226	1232,666667

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	659863,4	3	219954,4667	78,1626475	7,84311E-16	3,713964212
Dentro de los grupos	101306,2	36	2814,061111			
Total	761169,6	39				

ANOVA 1, del Oxígeno

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	30,74	3,074	3,044582222
Sin refrigeración	10	104,19	10,419	0,480498889
Durante refrigeración	10	136,38	13,638	1,198906667
Después de refrigeración	10	166,67	16,667	1,257712222

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	1022,22769	3	340,7425633	227,8566717	1,83891E-23	3,713964212
Dentro de los grupos	53,8353	36	1,495425			
Total	1076,06299	39				

ANOVA 1, de los NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	314	31,4	9,155555556
Sin refrigeración	10	150	15	2,666666667
Durante refrigeración	10	87	8,7	4,233333333
Después de refrigeración	10	49	4,9	1,433333333

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	4106,6	3	1368,866667	313,0825921	7,77357E-26	3,713964212
Dentro de los grupos	157,4	36	4,372222222			
Total	4264	39				

Anexo 29

Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba estática

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	55,22	5,522	0,145728889
Sin refrigeración	10	28,34	2,834	0,256715556
Durante refrigeración	10	17,5	1,75	0,204355556
Después de refrigeración	10	12,35	1,235	0,043316667

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	109,5719475	3	36,5239825	224,7226344	2,32935E-23	3,713964212
Dentro de los grupos	5,85105	36	0,162529167			
Total	115,4229975	39				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	86,1	8,61	0,303222222
Sin refrigeración	10	46,1	4,61	0,423222222
Durante refrigeración	10	30,7	3,07	0,591222222
Después de refrigeración	10	22,4	2,24	0,142666667

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	239,86475	3	79,95491667	219,0045652	3,615E-23	3,713964212
Dentro de los grupos	13,143	36	0,365083333			
Total	253,00775	39				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	9075	907,5	3909,611111
Sin refrigeración	10	6877	687,7	9690,455556
Durante refrigeración	10	4238	423,8	9369,733333
Después de refrigeración	10	2924	292,4	2859,377778

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	2259492,5	3	753164,1667	116,6377301	1,3351E-18	3,713964212
Dentro de los grupos	232462,6	36	6457,294444			
Total	2491955,1	39				

ANOVA 1, de los NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	287	28,7	2,233333333
Sin refrigeración	10	134	13,4	1,6
Durante refrigeración	10	79	7,9	1,877777778
Después de refrigeración	10	52	5,2	0,4

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	3309,4	3	1103,133333	722,0509091	3,37114E-32	3,713964212
Dentro de los grupos	55	36	1,527777778			
Total	3364,4	39				

ANOVA 1, del Oxígeno

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Silenciador	10	42,56	4,256	0,617671111
Sin refrigeración	10	125,25	12,525	1,80445
Durante refrigeración	10	151,6	15,16	1,910911111
Después de refrigeración	10	168,26	16,826	0,350204444

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	933,7396475	3	311,2465492	265,8388387	1,30886E-24	3,713964212
Dentro de los grupos	42,14913	36	1,170809167			
Total	975,8887775	39				

Anexo 30

Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba dinámica

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CO Sin refrigeración	10	44,18	4,418	1,539506667
CO Con refrigeración	10	13,61	1,361	0,147032222

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	46,726245	1	46,726245	55,41081241	6,73218E-07	6,514641777
Dentro de los grupos	15,17885	18	0,843269444			
Total	61,905095	19				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CO2 Sin refrigeración	10	51,9	5,19	0,152111111
CO2 Con refrigeración	10	23	2,3	0,388888889

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	41,7605	1	41,7605	154,3826248	2,87564E-10	6,514641777
Dentro de los grupos	4,869	18	0,2705			
Total	46,6295	19				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NOx Sin refrigeración	10	167	16,7	1,566666667
NOx Con refrigeración	10	49	4,9	1,433333333

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	696,2	1	696,2	464,1333333	2,65856E-14	6,514641777
Dentro de los grupos	27	18	1,5			
Total	723,2	19				

ANOVA 1, de NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
HC Sin refrigeración	10	4794	479,4	11676,48889
HC Con refrigeración	10	2260	226	1232,666667

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	321057,8	1	321057,8	49,7411002	1,40463E-06	6,514641777
Dentro de los grupos	116182,4	18	6454,577778			
Total	437240,2	19				

ANOVA 1, del Oxígeno

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
O2 Sin refrigeración	10	106	10,6	2,277888889
O2 Con refrigeración	10	166,67	16,667	1,257712222

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	184,042445	1	184,042445	104,1081498	6,54593E-09	6,514641777
Dentro de los grupos	31,82041	18	1,767800556			
Total	215,862855	19				

Anexo 31

Análisis de varianza ANOVA 1 de cada gas, prueba estática

ANOVA 1, del Monóxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CO Sin refrigeración	10	26,8	2,68	0,213333333
CO Con refrigeración	10	12,35	1,235	0,043316667

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	10,440125	1	10,440125	81,35690629	4,26242E-08	6,514641777
Dentro de los grupos	2,30985	18	0,128325			
Total	12,749975	19				

ANOVA 1, del Dióxido de Carbono

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CO2 Sin refrigeración	10	47,3	4,73	0,200111111
CO2 Con refrigeración	10	22,4	2,24	0,142666667

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	31,0005	1	31,0005	180,8781199	7,88692E-11	6,514641777
Dentro de los grupos	3,085	18	0,171388889			
Total	34,0855	19				

ANOVA 1, de los Hidrocarburos

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
HC Sin refrigeración	10	5985	598,5	8132,5
HC Con refrigeración	10	2924	292,4	2859,37778

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	468486,05	1	468486,05	85,2422233	3,00698E-08	6,514641777
Dentro de los grupos	98926,9	18	5495,938889			
Total	567412,95	19				

ANOVA 1, de los NOx

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NOx Sin refrigeración	10	159	15,9	0,5444444444
NOx Con refrigeración	10	52	5,2	0,4

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	572,45	1	572,45	1212,247059	5,73687E-18	6,514641777
Dentro de los grupos	8,5	18	0,472222222			
Total	580,95	19				

ANOVA 1, del Oxígeno

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
O2 Sin refrigeración	10	121,79	12,179	0,951032222
O2 Con refrigeración	10	168,26	16,826	0,350204444

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	107,973045	1	107,973045	165,9545074	1,59723E-10	6,514641777
Dentro de los grupos	11,71113	18	0,650618333			
Total	119,684175	19				