



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No

Renovables

Carrera Ingeniería en Mecánica Automotriz

Evaluación de Catalizadores en Vehículos de Encendido Provocado: un enfoque multimodal utilizando termografía infrarroja y emisiones contaminantes

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTOR:

Leodán Alexander Rodríguez Ortiz

DIRECTOR:

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc

Loja- Ecuador

2024

Certificación

Loja, 8 de mayo de 2024

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de Catalizadores en Vehículos de Encendido Provocado: un enfoque multimodal utilizando termografía infrarroja y emisiones contaminantes**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico Automotriz**, de la autoría del estudiante **Leodán Alexander Rodríguez Ortiz**, con **cédula de identidad Nro. 1105169146**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Leodán Alexander Rodríguez Ortiz**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma

Cédula de Identidad: 1105169146

Fecha: 8 de mayo de 2024

Correo electrónico: leodan.rodriguez@unl.edu.ec

Teléfono: 0994584318

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Leodán Alexander Rodríguez Ortiz** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de catalizadores en vehículos de encendido provocado: un enfoque multimodal utilizando termografía infrarroja y emisiones contaminantes**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Mecánica Automotriz** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de mayo del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Leodán Alexander Rodríguez Ortiz

Cédula: 1105169146

Dirección: Av. Los Paltas y Nicolasa Jurado

Correo electrónico: leodan.rodriguez@unl.edu.ec

Celular: 0994584318

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc

Dedicatoria

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios, quien me ha otorgado la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para completar este importante capítulo en mi vida académica. Su guía y protección han sido fundamentales en cada paso del camino, y le agradezco de todo corazón por sus innumerables bendiciones.

A mis queridos padres, por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificios innumerables han sido la base sobre la cual he construido mis logros. Su constante aliento y orientación han sido mi mayor inspiración. Este logro es también suyo, y les estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mis apreciados tíos, y al resto de mi familia, su apoyo emocional y palabras de aliento han sido un faro de luz en los momentos más desafiantes de este viaje académico. Su presencia y amor han sido un regalo invaluable que atesoro profundamente.

Leodán Alexander Rodríguez Ortiz

Agradecimiento

A Dios, por ser mi guía y brindarme la fortaleza y sabiduría necesarias para completar este importante proyecto. Tu amor incondicional y dirección han sido mi fuente de inspiración en cada paso del camino.

A mis queridos padres, su apoyo inquebrantable y amoroso ha sido la fuerza motriz detrás de mi educación y desarrollo. Gracias por sus sacrificios, orientación y aliento constante durante este viaje académico.

A mi amada familia, por su constante apoyo emocional, comprensión y aliento en cada etapa de mi vida. Su presencia y amor han sido una fuente de fuerza y motivación para mí.

A mis respetados docentes y asesor, por su orientación experta, estímulo intelectual y dedicación en ayudarme a alcanzar mis metas académicas. Agradezco sinceramente su paciencia, conocimiento y mentoría durante todo este proceso.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a este logro, ya sea con palabras de aliento, consejos prácticos o apoyo emocional, les estoy profundamente agradecido. Este logro no habría sido posible sin su generosidad y apoyo.

Con humildad y gratitud

Leodán Alexander Rodríguez Ortiz

Índice de contenido

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1 Título	1
2 Resumen	2
Abstrac.....	3
3 Introducción.....	4
4 Marco teórico.....	5
4.1 Generalidades	5
4.1.1 Motor de combustión interna de cuatro tiempos.....	5
4.1.2 Ciclo de funcionamiento teórico de los motores MEP.	5
4.2 Gases de escape generados por los MEP	6
4.3 Calor y temperatura.....	8
4.4 Termografía.....	8
4.5 Cámara termográfica	9
4.6 Principios de funcionamiento de una cámara termográfica	10
4.6.1 Termografía infrarroja	10
4.6.2 Emisividad y temperatura reflejada	11
4.7 Tipos de sensores de oxígeno.....	13
4.7.1 Sonda lambda de Circonio.....	13
4.7.2 Sonda lambda de titanio.....	13
4.7.3 Sonda lambda de banda ancha	13
4.7.4 Ubicación de la sonda lambda	13

4.8	Catalizadores	14
4.8.1	Principio de funcionamiento	15
4.8.2	Tipos de catalizadores	16
4.9	Normativa de emisiones	17
4.10	Control de emisiones	18
4.10.1	Convertidores Térmicos	18
4.10.2	Convertidores Catalíticos	18
4.10.3	Arranques en Frío	19
4.10.4	Trampas de Partículas	19
4.10.5	Tipos de combustibles	19
5	Metodología	21
5.1	Equipos y Materiales	21
5.1.1	Vehículos	21
5.1.2	Analizador de gases	22
5.1.3	Osciloscopio	24
5.1.4	Higrómetro	25
5.1.5	Escáner automotriz	26
5.1.6	Multímetro.	27
5.1.7	Cámara termográfica	27
5.1.8	Mapa satelital de la ruta	28
5.1.9	Software estadístico	29
5.2	Proceso Cronológico	30
5.3	Diseño experimental	31
5.3.1	Minitab	31
5.3.2	Modelo Factorial	32
5.4	Obtención de datos.	35
5.4.1	Preparación de vehículo	35
5.4.2	Obtención de datos de cada instrumento de medición	35
5.4.3	Tabulación de datos	38
5.5	Correlación de datos	39
5.5.1	Datos	39
5.5.2	Análisis de los resultados del modelo factorial en Minitab	41
5.5.3	Verificación de datos	42
6	Resultados	45

6.1	Análisis del diseño factorial Minitab.....	45
6.1.1	Resultados del factor lambda generados por el diseño factorial.....	45
6.1.2	Resultados del factor CO2 generados por el diseño factorial.....	47
6.1.3	Resultados del factor O2 generados por el diseño factorial.....	49
6.1.4	Resultados del factor CO generados por el diseño experimental.....	52
6.1.5	Resultados del factor HC generados por el diseño experimental.....	54
6.2	Análisis del diseño factorial en IBM SPSS Statistics.....	57
7	Discusión.....	60
8	Conclusiones.....	61
9	Recomendaciones.....	64
10	Bibliografía.....	65
11	. Anexos.....	68

Índice de tablas:

Tabla 1.	Emisiones de los MCIA y sus Características.....	7
Tabla 2.	Especificaciones Técnicas del Vehículo.....	22
Tabla 3.	Características principales del analizador de gases.....	23
Tabla 4	Características principales del higrómetro HTC-2.....	26
Tabla 5.	Características de la FLIR ONE Edge Pro.....	28
Tabla 6.	Resumen del modelo del factor lambda.....	46
Tabla 7.	Valores de “P” del factor lambda.....	46
Tabla 8.	Resumen de modelo del factor lambda.....	48
Tabla 9.	Valores de “P”. del factor lambda.....	48
Tabla 10.	Resumen de modelo del factor O2.....	50
Tabla 11.	Valores de "P" del factor O2.....	50
Tabla 12.	Resumen de Modelo del factor CO.....	52
Tabla 13	Valores de “P” del factor CO.....	53
Tabla 14.	Resumen de Modelo del factor HC.....	55
Tabla 15.	Valores de “P” del factor HC.....	55
Tabla 16.	Matriz de correlaciones.....	57
Tabla 17.	Prueba de KMO y Bartlett.....	57
Tabla 18.	Comunalidades.....	58
Tabla 19.	Varianza total explicada.....	58
Tabla 20.	Matriz de componente.....	58
Tabla 21.	Matriz de componente rotado.....	59
Tabla 22.	Comparación de resultados.....	60

Índice de figuras:

Figura 1. Diagrama de Distribución Ideal de un Motor Otto.....	5
Figura 2. Emisiones generadas por un MCI	6
Figura 3. Gama de Espectro Termográfico.....	9
Figura 4. Reflexión de Haz de Luz en un Cuerpo	11
Figura 5. Diagrama Del Factor Lambda	12
Figura 6. Señal del sensor de oxígeno, antes y después del catalizador	13
Figura 7. Catalizador.....	15
Figura 8. Partes del catalizador.....	15
Figura 9. Vehículo A	21
Figura 10. Vehículo B.....	22
Figura 11. Vehículo C.....	22
Figura 12. Analizador de gases Capelec 3201	23
Figura 13. Osciloscopio USB Autoescope IV	24
Figura 14. Higrómetro Digital	25
Figura 15. Escáner Automotriz FCAR	26
Figura 16. Multímetro Digital.....	27
Figura 17. Cámara Termográfica FLIR ONE® Edge Pro	28
Figura 18. Ruta Seleccionada	29
Figura 19. Interfaz Inicial Software Minitab	29
Figura 20. Flujograma Para Llevar a Cabo de Inicio a Fin del Proyecto de Trabajo de Titulación	31
Figura 21. Interfaz Inicial Software Minitab	32
Figura 22. Pasos Diseño Factorial	32
Figura 23. Determinación del Diseño Factorial.....	33
Figura 24. Configuración del diseño factorial	33
Figura 25. Configuración de valores de los niveles.....	34
Figura 26. Diseño Factorial Creado	34
Figura 27. Vehículo colocado en elevador	35
Figura 28. Ondas de los sensores.....	36
Figura 29. Sonda y pantalla del analizador de gases	36
Figura 30. Interfaz de escáner automotriz	37
Figura 31. Higrómetro	37
Figura 32. Termograma del catalizador	38
Figura 33. Tabulación de Datos.....	38
Figura 34. Datos en Minitab	39
Figura 35. Análisis diseño factorial	40
Figura 36. Regresión factorial general.....	40
Figura 37. Análisis factorial.....	42
Figura 38. Indicador de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	42
Figura 39. Método de extracción	43
Figura 40. Rotación ortogonal varimax.....	44
Figura 41. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de lambda	45
Figura 42. Gráfica de Superficie del Modelo Lambda	47

Figura 43. Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados de CO2.....	47
Figura 44. Gráfica de superficie del factor CO2.....	49
Figura 45. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de O2.....	49
Figura 46. Gráfica de Superficie del Factor O2 vs Octanaje y Temperatura.....	50
Figura 47. Gráfica de Superficie del Factor O2 vs rpm y Temperatura	51
Figura 48. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO	52
Figura 49. Gráfica de Superficie del Factor CO vs rpm y Temperatura.....	53
Figura 50. Gráfica de Superficie del Factor CO vs Kilometraje y Temperatura	54
Figura 51. Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados de HC.....	54
Figura 52. Gráfica de Superficie del Factor HC vs Rpm y Temperatura	56
Figura 53. Gráfica de Superficie del Factor HC vs Kilometraje y Temperatura	56

Anexos:

Anexo 1. Ficha técnica del vehículo.....	68
Anexo 2. Características del analizador de gases	69
Anexo 3. Informe termográfico	70
Anexo 4 Total, de corridas.....	71
Anexo 5. Certificado de traducción de resumen.....	72

1 Título

Evaluación de Catalizadores en Vehículos de Encendido Provocado: un Enfoque Multimodal utilizando Termografía Infrarroja y Emisiones Contaminante

2 Resumen

El objetivo principal de esta investigación es proporcionar una elucidación completa del proceso secuencial que se ejecuta meticulosamente para determinar el estado operativo del catalizador en los automóviles que están equipados con un ciclo de trabajo otto. Este intrincado procedimiento abarca un examen exhaustivo de numerosos factores que tienen un impacto directo en la eficacia del motor y, en consecuencia, en el propio catalizador. Estos factores abarcan, entre otros, la calidad del combustible utilizado, los diversos modos de funcionamiento del motor y el kilometraje actual acumulado por cada uno de los vehículos sometidos a las pruebas experimentales.

La evaluación se lleva a cabo sobre la base de un marco experimental en el que se definen meticulosamente los parámetros específicos que se consideran cruciales para el proceso de recopilación de datos en las diversas pruebas. Esto se complementa con la utilización de técnicas de obtención de imágenes termográficas que facilitan la determinación de las temperaturas de funcionamiento de los catalizadores y su capacidad de respuesta a los diversos parámetros operativos, además de medir en qué medida contribuyen a la emisión de gases nocivos. Tras el análisis mediante la utilización de programas estadísticos, es posible determinar en qué medida estos factores influyen en las variables de producción resultantes. Es imprescindible tener en cuenta que existen factores ajenos al ámbito de este estudio que podrían afectar al proceso de diagnóstico relacionado con el estado del catalizador.

Palabras clave: catalizador, termografía, analizador de gases, emisiones contaminantes

Abstrac

This research aims to comprehensively explain the meticulously executed sequential process that determines the operational status of the catalyst in automobiles equipped with an otto duty cycle. This complex procedure entails a thorough examination of numerous factors that have a direct impact on the engine's efficiency and, consequently, the catalyst itself. These factors include, among others, the quality of the fuel used, the various engine operating modes, and the current mileage accumulated by each of the vehicles subjected to the experimental tests.

We carry out the evaluation based on an experimental framework that meticulously defines the specific parameters crucial to the data collection process in the various tests. The use of thermographic imaging techniques complements this, facilitating the determination of catalyst operating temperatures and their responsiveness to various operating parameters, as well as measuring their contribution to the emission of harmful gases. After analysis using statistical programs, it is possible to determine to what extent these factors influence the resulting production variables. It is crucial to consider that factors beyond the purview of this study may impact the diagnostic process concerning the catalyst's condition.

Keywords: *catalyst, thermography, gas analyzer, polluting emission*

3 Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero, que son ampliamente reconocidas como uno de los principales contribuyentes al creciente problema del calentamiento global, donde uno de los métodos mayormente utilizados en los vehículos de motor de combustión interna para controlar estos gases es el catalizador el cual por medio de un proceso de oxidación y reducción ayuda a controlar la salida de gases contaminantes que salen al exterior y que son uno de los factores relevantes para la contaminación del medio ambiente.

En la actualidad el diagnóstico de los catalizadores esta comandado por las señales emitidas por los sensores de oxígeno que son interpretadas a su vez por la computadora del vehículo, adicional, existe en los sistemas de inyección directa de gasolina, transductores de presión y termocuplas los cuales se los coloco antes y después del catalizador los mismos que nos sirven para medir la temperatura de los gases de escape. Además, es muy poco común un método que determine de forma no invasiva el estado del catalizador y su funcionamiento correcto y el comportamiento del mismo ante distintas variables de entrada como calidad de combustible, distinto regímenes de trabajo del motor y considerando el kilometraje de los vehículos de prueba.

La termografía, a pesar de ser una técnica y un método científico empleados con fines de diagnóstico, en particular para evaluar el estado de los catalizadores y filtros diésel, como los filtros de partículas diésel (DPF), puede plantear desafíos en su aplicación debido a la posible falta de disponibilidad del equipo de monitoreo necesario. En los casos en que no se pueda acceder a la termografía, se pueden tomar medidas alternativas, como la instalación de transductores de presión y termopares, para garantizar un monitoreo continuo y consistente del estado de los catalizadores y los DPF.

Los estudios por análisis termográficos hoy en día son una gran herramienta para diagnosticar y nos puede ayudar a establecer un correcto mantenimiento predictivo de forma no invasiva, con este tipo de análisis se puede determinar cómo las variables de kilometraje, calidad de combustible y régimen de trabajo del motor puede influir en el funcionamiento del catalizador y a su vez incidir de forma directa en la emisión de gases contaminantes.

4 Marco teórico

4.1 Generalidades

4.1.1 Motor de combustión interna de cuatro tiempos.

El MCI es una máquina que transforma energía química procedente de la combustión de la mezcla de oxígeno y combustible en energía mecánica para producir el movimiento de un vehículo.

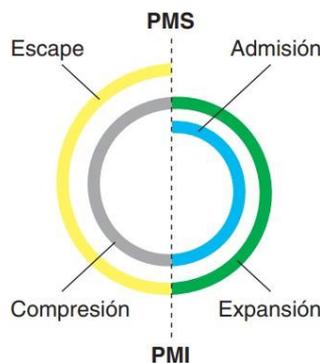
Motor de ciclo Otto. Denominado también de motores de encendido provocado (MEP) ya que requiere de un agente externo que inicie la explosión en este caso una chispa producida por un arco eléctrico.

4.1.2 Ciclo de funcionamiento teórico de los motores MEP.

El ciclo de trabajo de un MEP comprende 4 fases diferentes; admisión, compresión, expansión y escape, cada una de estas etapas ocurren durante una carrera del pistón, es decir que sucede cada media vuelta de cigüeñal, por lo que un ciclo de trabajo completo se realiza cuando el cigüeñal gira 2 vueltas completas. La carrera del pistón se refiere al desplazamiento que tiene este desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI). Este desplazamiento lineal es el que es transformado en movimiento de rotación gracias la biela y el cigüeñal, en la Figura 1 se muestra el diagrama de trabajo de un motor MEP durante su funcionamiento.

Figura 1.

Diagrama de Distribución Ideal de un Motor Otto



Nota: Adaptado de *Motores* por Sanz Acebes, 2007, (p.24).

Admisión. Inicia en el PMS cuando la válvula de admisión se abre y permite el ingreso de la mezcla de aire-combustible al interior del cilindro, el pistón desciende hacia el PMI lo que crea un vacío dentro del múltiple de admisión provocando así que se dé un efecto de aspiración, llenado el cilindro con aire, el combustible es inyectado antes de terminar esta etapa para que se pueda mezclar de la forma más homogénea posible. Esta fase termina cuando el pistón llega al PMI y la válvula de admisión se cierra.

Compresión. Al terminar la admisión, el pistón nuevamente asciende hasta e PMS, con

las válvulas de admisión y escape cerradas, la mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro es comprimida, elevando también la temperatura de está y disminuyendo su volumen. Con el aumento de la presión y temperatura de la mezcla, el combustible que en este caso es la gasolina, se evapora y se mezcla de forma más homogénea con el aire logrando así que la combustión se desarrolle de mejor manera.

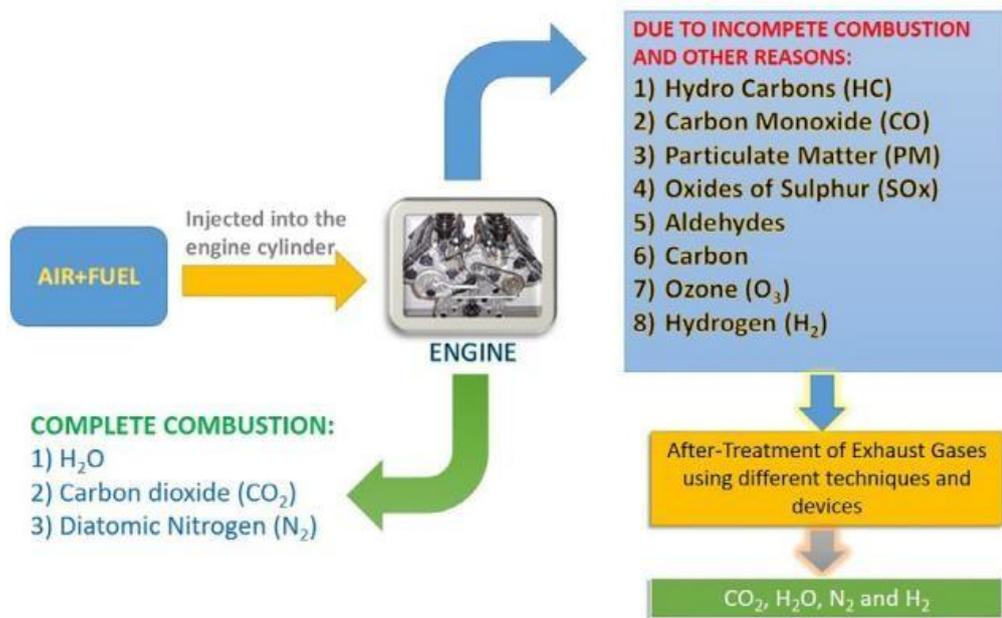
Expansión. Cuando la bujía entrega la chispa, la mezcla de aire y combustible se quema, logrando que se genere un aumento de presión, esta es aplicada en la cabeza del pistón lo que causa que descienda, lo cual por efecto la mezcla de gases combustionados se expanda y disminuyan su temperatura. Las válvulas de admisión y de escape continúan cerradas. Esta fase es la única que aporta trabajo dentro del ciclo de funcionamiento del motor de combustión interna.

Escape. Luego de que termine la tercera fase, la válvula de escape se abre y el pistón que está en el PMI nuevamente asciende para eliminar todos los gases que se generaron debido a la combustión, disminuyendo también así la presión residual y la temperatura en el interior del cilindro debido a que los gases quemados salen a gran velocidad del interior del cilindro por la válvula de escape. Cuando el pistón llega al PMS la válvula de escape se cierra (Sanz Acebes, 2022).

4.2 Gases de escape generados por los MEP

El uso predominante de combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo, es la causa principal de los efectos adversos de las emisiones de un MCIA. Las emisiones, tanto en forma gaseosa como sólida, contienen sustancias químicas con carbono como componente clave. En la figura 2 se observa que, entre los contaminantes liberados por los MCIA se encuentran hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM). La combustión incompleta, la heterogeneidad de la mezcla aire-combustible y la falta de oxígeno son algunas de las razones que contribuyen a la liberación de estos contaminantes. El aumento en la temperatura, producto de la combustión completa, también genera óxidos de nitrógeno (NO_x). Estas emisiones, incluyendo HC, CO, NO_x, CO₂ y PM, son de naturaleza antropogénica y tienen impactos significativos en la calidad del aire y el medio ambiente (Ashok, 2021).

Figura 2.



Nota: Adaptado de *Emissions resulting from complete and incomplete burning*, por B. Ashok, 2021, Elsevier.

El CO, resultante de la falta de oxígeno, representa la mitad de las emisiones totales, mientras que los HC, generados por la combustión incompleta del combustible, son altamente carcinogénicos. El material con partículas sólidas de carbono de menor diámetro, se forma en el cilindro del motor. Los NO_x, generados internamente, reaccionan con gases atmosféricos para formar sustancias tóxicas como el ácido nítrico.

Estas emisiones tienen consecuencias adversas, desde el perjuicio causado a la vegetación y las alteraciones en la salud pulmonar de los seres humanos como resultado de la existencia de ozono en las capas inferiores de la atmósfera, hasta los impactos observados a escala mundial, incluido el aumento de la temperatura atmosférica, las enfermedades respiratorias, la incidencia del cáncer y la exacerbación de los efectos de invernadero, incluida la reducción de la capa de ozono, algunas otras características se muestran en la tabla 1. La imposición de regulaciones gubernamentales más estrictas, inicialmente en países desarrollados, ha sido una respuesta a estos impactos negativos.

Tabla 1.

No.	Tipo de contaminante	Característica del contaminante
1	Material particulado	Partículas diminutas con diámetros menores a 2.5µm que contienen principalmente carbono
2	Hidrocarburos	Compuestos que contienen átomos de carbono e hidrógeno
3	Dióxido de carbono	Inodoro a bajas concentraciones, pero muestra un color ácido a concentraciones elevadas. Contiene un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno
4	Monóxido de carbono	Contiene un átomo de carbono y uno de oxígeno con una longitud de enlace de 112.8 pm. Es un gas incoloro, insípido e inodoro
5	Óxidos de nitrógeno	Las emisiones (NO y NO ₂) NO es un gas incoloro e inflamable con poco olor. NO tiene un electrón desapareado (radical libre). NO ₂ es un gas no inflamable pero venenoso y tiene un color naranja-rojo intenso
6	Óxidos de azufre (SO ₂) y Óxidos de plomo (PbO ₂)	SO ₂ es incoloro, tóxico y tiene un olor sofocante. Además, el SO ₂ lleva a la formación de ácido sulfúrico y resulta en lluvias ácidas. PbO ₂ es de color marrón oscuro, no inflamable e insoluble en agua
7	Ozono (O ₃)	El ozono (O ₃) es de color azul y es un fuerte oxidante con buena solubilidad. El ozono puede ser explosivo si su concentración supera el 20% en una mezcla
8	Aldehídos y cetonas	Son compuestos orgánicos solubles en agua, pero su solubilidad disminuye con el aumento de la longitud del carbono. Con un aumento en el peso molecular, su punto de ebullición aumenta

Nota: pm: picómetros, µm: micrómetros. Adaptado de *Pollutants formed in IC engines and their characteristics*, por B. Ashok, 2021, Elsevier.

4.3 Calor y temperatura

La materia está constituida por moléculas que se encuentran en constante movimiento, cuando es mayor las moléculas están cargadas con mayor energía y ocurre lo contrario cuando es menor, por lo que se define al calor como energía en tránsito; por consiguiente, ya que la temperatura es un valor cuantificable que está en directa relación con la energía, nos permite tener la noción de cuando un cuerpo se encuentra caliente o frío (Cengel & Ghajar, 2020).

La temperatura depende de la energía cinética de las moléculas de un cuerpo además cuando un cuerpo sufre una variación de temperatura la energía no es la única que varía (aumentando o disminuyendo la cinética de sus moléculas) sino que también existe un cambio en las propiedades físicas de un material, como, por ejemplo: su resistencia eléctrica, sus dimensiones (dilatación o contracción) y en el caso de gases su presión (Cengel & Ghajar, 2020).

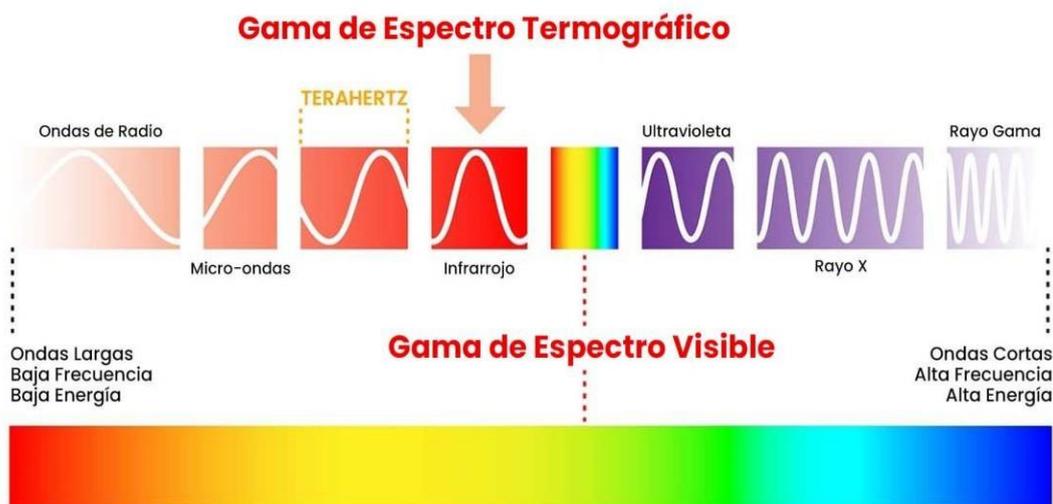
4.4 Termografía

La termografía es una técnica de mantenimiento preventivo y predictivo utilizada en las industrias la cual tiene por objetivo medir la radiación infrarroja (IR) que emiten los cuerpos u

objetos. Tiene como primicia de funcionamiento que todo objeto o cuerpo que se encuentre por encima del cero absoluto, emite radiación térmica la cual se evidencia en luz infrarroja (Morales, 2020).

En el campo laboral estos haces de luz no son perceptibles al ojo humano debido a que las ondas de luz infrarroja están fuera del espectro visual, por lo cual se hace necesario acudir a una herramienta llamada cámara termográfica, la cual si es capaz de captar esta luz y convertirla en una imagen donde se notan diferentes tonos, colores e intensidad, generalmente es un color frío (para las zonas de menor temperatura) y un color cálido (para las zonas de mayor temperatura) (Guerrero & Verdezoto, 2023).

Figura 3.
Gama de Espectro Termográfico.



Nota: El espectro visible por el ser humano es una fracción, que tiene una longitud de onda que está en el rango de 380 a 750 nm y superior a este último valor es un espectro de luz no visible por el ojo humano, que únicamente puede ser apreciado con ayuda de una herramienta externa. Morales, 2020.(p.241).

4.5 Cámara termográfica

En el mercado existen diversos tipos de cámaras termográficas donde sus variantes principales radican en características técnicas como:

El rango de temperatura: se refiere al intervalo de temperaturas dentro del cual un sistema, dispositivo o material puede funcionar de manera segura y eficiente. Es la diferencia entre la temperatura mínima y la temperatura máxima que un objeto puede tolerar sin sufrir daños o sin comprometer su funcionamiento.

Rango del espectro visual: Rango de longitudes de onda que es capaz de medir la cámara.

La sensibilidad del NETD: (Noise Equivalent Temperature Difference) es una medida crucial en la tecnología de imagen térmica, ya que indica la capacidad de un sensor para detectar pequeñas diferencias de temperatura.

Resolución: Es la cantidad de píxeles que puede captar por unidad de longitud, entre mayor sean estos, la imagen será de mejor calidad ya que contara con más detalles.

Óptica/Campo de Visión FOV: Es la capacidad de la cámara para captar el entorno de visión, cuanto mayor sea este mayor será el espacio que capte la cámara

Enfoque: Este un punto muy importante, existe cámaras en el mercado que tienen lentes intercambiables para tener un mejor enfoque y por lo tanto una mejor captura de la imagen.

Todas estas características hacen que una cámara termográfica tenga mejores prestaciones unade otra (Mesurex, 2022).

4.6 Principios de funcionamiento de una cámara termográfica

4.6.1 Termografía infrarroja

La termografía es la ciencia que se encarga de la captación de información térmica sin la necesidad de tener un contacto directo con el cuerpo a analizar, se hace por medio de la interpretación de imágenes recolectadas a partir de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo.

Debemos considerar que dentro de este campo de recolección de datos a partir de la radiación infrarroja existen dos métodos para la captación de información, como lo son el método cualitativo, el cual es una técnica que basa su análisis en la interpretación de una imagen térmica, no necesariamente tiene que ser totalmente exacto o minucioso, sino más bien basa su análisis en detectar fugas o sobrecalentamientos evidentes en un objeto o cuerpo.

Por otro lado, tenemos el método cuantitativo, el cual se caracteriza por tener la capacidad de estimar la seriedad de una anomalía presente en un cuerpo a partir de su temperatura, por lo que es una medida más precisa, es comúnmente utilizada como método de diagnóstico preventivo o predictivo, adicional a esto para este tipo de medidas es necesario considerar los siguientes factores (Hernández., 2020).

- En ángulo de visión de la cámara
- La velocidad del viento
- El enfoque
- Emisividad

4.6.2 Emisividad y temperatura reflejada

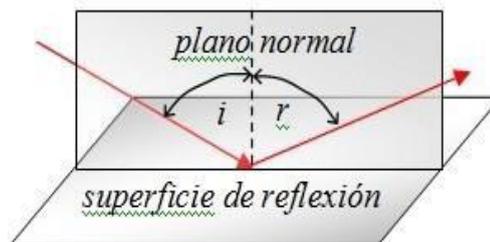
La emisividad es un punto muy importante a considerar en la medición de temperatura de un cuerpo, ya que esta es la capacidad de un cuerpo a emitir radiación y este varía en función de su material, por lo tanto, aunque dos objetos tengan la misma temperatura si estos están compuestos de distintos materiales puede que el cámara tenga una interpretación errónea de su temperatura real, es por ello que se debe modificar los factores de emisividad (Renovefree Gmao, 2016).

Así pues, la emisividad indica la temperatura que emite un objeto, su rango de valor varía entre 0 que son los cuerpos que reflejan mucho (espejo brillante) y 1 que corresponde a cuerpos negros, que son aquellos que absorben toda la radiación que incide en ellos. Algunos de los factores que afectan la emisividad de un cuerpo son los siguientes. (Kapter, 2019)

- Material
- Superficie del cuerpo a analizar
- Geometría
- Temperatura ambiente

La reflexión ocurre cuando una onda choca contra la superficie de un cuerpo ocasionando que la misma no traspase dicho objeto, por lo tanto, hace esta onda cambie de dirección, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.
Reflexión de Haz de Luz en un Cuerpo



Nota. Fuente Hernández., 2020, (p.81)

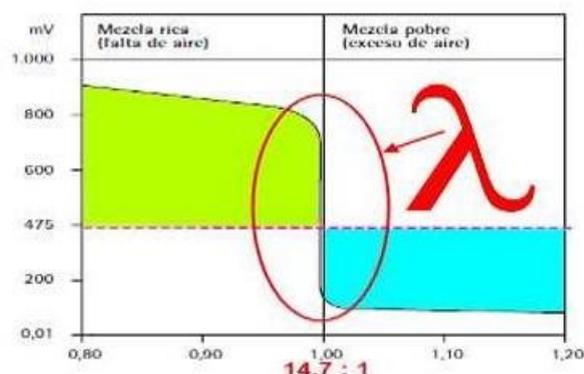
Cabe destacar también que la reflexión varía en función del ángulo, en otros casos

particulares podemos tener una reflexión difusa que ocurre cuando existen irregularidades en el cuerpo a analizar. Por otro lado, también existen la reflexión especular que ocurre cuando estas irregularidades en el cuerpo son más pequeñas y finalmente existe la refracción que ocurre cuando parte de la onda pasa por un cuerpo, pero su dirección y velocidad cambia esto en el caso de un líquido (Renovefree Gmao, 2016).

Sensor de oxígeno. _ El sensor de oxígeno en un componente esencial en el vehículo su funcionamiento se basa en medir la cantidad de oxígeno que salen en los gases de escape y en base a ese análisis enviar información a la computadora del vehículo para que a su vez esta regule la cantidad de inyección de combustible, que se esté suministrando al motor, de tal manera que se garantice la mayor parte del tiempo una mezcla estequiométrica (14.7g de aire por 1g de combustible) (Delgadillo, 2020).

Funcionamiento. _ Este funciona midiendo la cantidad de oxígeno que existe en los gases de escape, dicha señal llega a la computadora del vehículo y determina si la mezcla aire combustible es pobre o rica. Cuando se tienen señales de voltaje por debajo de 50 mV la mezcla es pobre, por lo que la computadora comanda un mayor tiempo de inyección, por otro lado, si la señal es alta con un voltaje superior a los 900 mV, la mezcla es rica y por lo tanto la computadora comanda un menor tiempo de inyección, el voltaje de referencia es de 450mV (mezcla estequiométrica), cabe resaltar que esta señal se encuentra en constantes oscilaciones y el umbral entre mezcla pobre y rica se denomina Lambda (λ) como se observa en la Figura 5. Cabe resaltar que este sensor no trabaja a temperaturas inferiores a 300°C, por esta razón el mismo se encuentra lo más cercano al múltiple de escape. (Coral & Farinango, 2023).

Figura 5.
Diagrama Del Factor Lambda



Nota. Obtenida de Coral & Farinango, 2023 (p.55).

4.7 Tipos de sensores de oxígeno

4.7.1 Sonda lambda de Circonio

Este es el más utilizado debido a su bajo coste, y en el mercado existen de distintas variantes como los son de uno hasta cuatro cables, trabaja a partir de los 300 °C, este puede incorporar un calentador para que alcance su temperatura idónea de funcionamiento de forma rápida o en su defecto a la falta de este componente la temperatura óptima de funcionamiento se alcanza luego de 5 minutos, este contiene un electrolito que proporciona tensión eléctrica por medio de la comparación entre los gases de escape y el aire exterior (Coral & Farinango, 2023).

4.7.2 Sonda lambda de titanio

Este es un elemento muy sensible y cambia su resistencia en cuanto entra en contacto con el oxígeno de los gases de escape, adicional a ello este no puede ser reemplazado o intercambiado por un sensor de oxígeno con material de tipo circonio (Delgadillo, 2020).

4.7.3 Sonda lambda de banda ancha

Este sensor se caracteriza por contar con un sistema de bucle cerrado, ya que cuenta con un sensor antes del catalizador y otro después del catalizador, con la finalidad de garantizar por un lado una mezcla estequiométrica y por otro lado el correcto funcionamiento del catalizador (FAE, 2023)

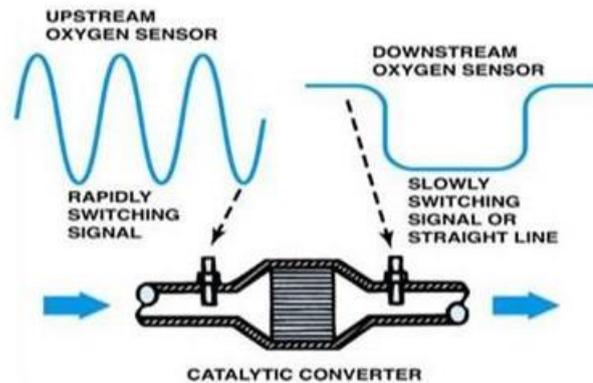
4.7.4 Ubicación de la sonda lambda

Existen dos ubicaciones del sensor de oxígeno, una que se encuentra antes de catalizador cercadel múltiple de escape y otra que se encuentra luego del catalizador. Sus funciones son similares pero sus objetivos de medida son distintos, en el primer caso, cuando el sensor se encuentra antes del catalizador, este se encarga de medir el oxígeno remanente en los gases de escape, para con la información la computadora pueda comandar la regulación del tiempo de inyección del combustible, y de esta manera garantizar en todo momento una mezcla estequiométrica (14.7g de aire por 1g de combustible). En el segundo caso se usa este sensor para determinar si el catalizador está funcionando de forma correcta (Coral & Farinango, 2023).

La computadora compara los datos de los gases que entran y salen del catalizador, determinado así el rendimiento del mismo y en caso de alguna anomalía envía un código de fallo, en la Figura 6, se puede observar las señales de entrada y salida de los sensores de oxígeno (PICO, 2023).

Figura 6.

Señal del sensor de oxígeno, antes y después del catalizador



Nota: La señal del sensor de oxígeno antes del catalizador varía en valores de entre 50mV a 900 mV y la señal después del catalizador, es casi una línea recta que no muestra mucha variación Coral & Farinango, 2023, (25).

4.8 Catalizadores

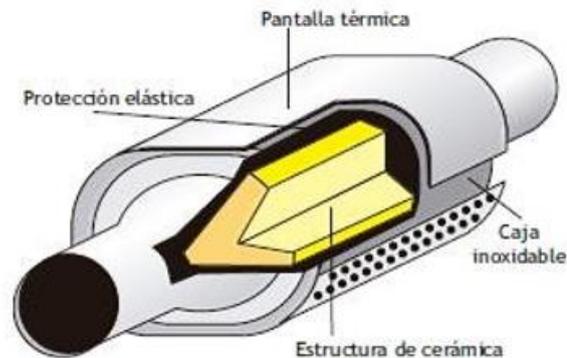
El convertidor catalítico es un elemento de control de gases contaminantes, que se encuentra ubicado cerca el múltiple de escape ya que es por esta zona donde pasan los gases producidos en el motor, además cerca de esta zona utiliza el calor de dichos gases para alcanzar su temperatura de funcionamiento de forma rápida la cual está comprendida entre un rango de 300 y 800 °C, cabe resaltar que debido a los elementos que componen el catalizador, este no tiene ningún control de gases contaminantes cuando la temperatura se encuentra por debajo de los 300 °C y en el caso de que la temperatura sea superior a los 800°C se produce el envejecimiento térmico debido a la degradación de los metales nobles por los cuales está compuesto (sánchez,2021).

Su función es limitar o reducir la cantidad de gases contaminantes que se generan producto de la combustión del combustible en el motor, los cuales son nocivos para el medio ambiente y para la sociedad, cabe resaltar que un convertidor catalítico no es un filtro sino un reactor químico, que, por medio de catálisis, genera reacciones químicas en los gases de escape, para así en su salida estos sean lo menos nocivos posibles para el medio ambiente (sánchez, 2021).

La descomposición de los gases en el catalizador es un proceso químico que ocurre en la superficie del catalizador, donde las moléculas de los gases se adsorben y reaccionan entre sí para formar nuevos productos. Este proceso es esencial para el control de emisiones en los vehículos automotores, ya que permite convertir gases nocivos como los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx) en gases inofensivos como el

dióxido de carbono (CO₂) y el agua (H₂O).

Figura 7.
Catalizador



Nota. sánchez, 2021, (p.71).

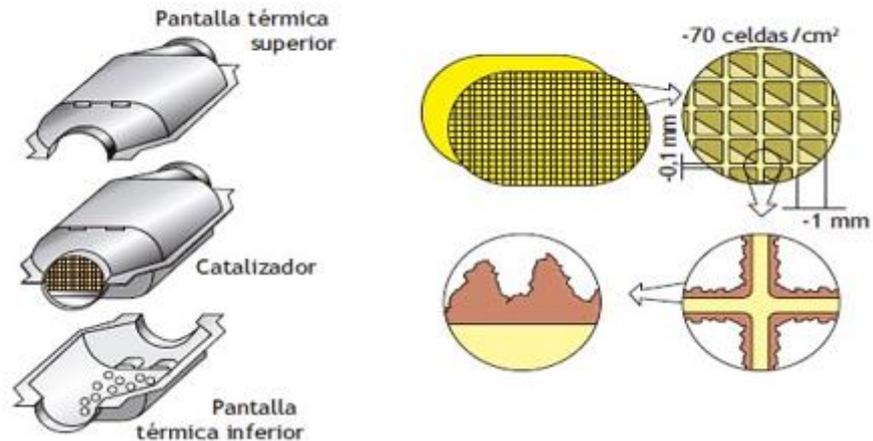
4.8.1 Principio de funcionamiento

Dentro del convertidor catalítico se encuentra un monolito o una estructura cerámica, con orificios en forma de honeycomb, con aproximadamente 450 celdas por pulgada cuadrada, la superficie está impregnada por una resina con metales nobles, como: el paladio (Pd) y platino (Pt) los cuales cumplen con la función de oxidación y rodio (Rh), los cuales hacen la misión de la reducción, estos metales actúan como elementos reactivos químicos que al entrar en contacto con los gases contaminantes los transforma parcialmente en elementos no nocivos para el medio ambiente (Pardiñas, 2018).

Durante el funcionamiento del motor, los gases de escape poco a poco van obstruyendo el monolito del catalizador, para evitar este taponamiento se utiliza la regeneración del mismo la cual se logra por medio de la gestión de la computadora del motor la cual comanda una post inyección de combustible, ya que para quemar las partículas obstructoras se necesita una temperatura mínima de 550 °C, a este proceso se le denomina regeneración (Pardiñas, 2018).

Dadas las propiedades de los metales nobles que componen el catalizador, su función es crear reacciones químicas que descompongan los gases contaminantes que salen del motor, en gases menos nocivos para el medio ambiente y la sociedad, así pues, transforma los hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), esto lo hacer por medio de la reducción la cual se encarga de extracción del oxígeno de los gases y la oxidación por otro lado la adición de oxígeno a los gases de escape (sánchez, 2021).

Figura 8.



Nota. sánchez, 2021 (p.73).

4.8.2 Tipos de catalizadores.

Cerámico. - Se caracteriza por tener un monolito de cerámica, atravesado por varios orificios en forma de panal, por donde circulan los gases de escape, dicha parte cerámica está constituida por silicato de magnesio- aluminio, fijada a una carcasa de chapa de acero inoxidable, con la que se consigue mantener los estándares de tolerancia de dilatación térmica entre la carcasa y el material de soporte. Los inconvenientes de este tipo de catalizador son los siguientes (sánchez, 2021).

- Debilidad
- Efecto de contrapresión
- Fusión

Metálico. _ Esta constituido en su parte interna por tres metales preciosos como lo son: rodio, paladio y platino enrollados en forma de espiral, estos se encargan de hacer las reacciones químicas para limpiar los gases de escape, este monolito es más resistente, pero cuenta con el problema de la contrapresión, es decir su taponamiento. Para su uso es recomendable utilizar catalizadores previos o de arranque cerca del múltiple de escape, esto con la finalidad de alcanzar su temperatura de funcionamiento de forma rápida, cuando el vehículo este frío. (Kritsanaviparkporn, Baena , & TR, 2021)

Metálico de flujo radial, RFM. _ Tiene forma de cuña que produce un efecto Venturi, lo cual hace que el flujo de gases aumente su velocidad, lo que provoca que el humo no se tienda a regresar y siga su correcto curso, disminuyendo así el efecto de contrapresión, que ocurre en los catalizadores de tipo metálico y cerámico (Kritsanaviparkporn, Baena , & TR,2021).

Catalizador de dos vías (oxidación). Este tipo de catalizadores trabaja con exceso de oxígeno, su principal función es transformar el monóxido de carbono (CO) en dióxido de carbono (CO₂) y convertir los hidrocarburos (HC) a dióxido de carbono (CO₂) y finalmente a vapor de agua (H₂O). El inconveniente de este tipo de catalizadores es que no pueden controlar los óxidos nitrosos (NO_x), lo cual limita su uso en los vehículos a gasolina (Catalytic Converters, 2022).

Catalizador de tres vías con toma de aire (catalizador de bucle abierto). Este tipo de catalizadores es usado exclusivamente en vehículos americanos, su principal diferencia del catalizador de dos vías es que este cuenta con una primera etapa que se encarga de eliminarlos óxidos de nitrógeno (NO_x) y una segunda etapa que es igual a la del catalizador de dos vías (Pardiñas, 2018).

Catalizador de tres vías (catalizador de bucle cerrado). Este tipo de catalizador se diferencia del de bucle abierto, debido a que cuenta con dos sensores de oxígeno, uno a la entrada y otro a la salida, con esto consigue una correcta mezcla de aire combustible y adicionalmente ellos determinan el correcto estado del convertidor catalítico (sánchez, 2021).

4.9 Normativa de emisiones

Las normas de emisión son requisitos legales que establecen límites específicos para la liberación de contaminantes al medio ambiente, enfocándose principalmente en la regulación de emisiones de automóviles y otros vehículos. Dichas normas también pueden abarcar la industria, centrales eléctricas y generadores diésel. Los límites de emisión de CO, HC, NO_x y PM son abordados y expresados en diversas unidades según la región, en la Unión Europea (g/km), en Estados Unidos (g/milla), y en Japón (g/test). Para comparación se convierten comúnmente a g/km, pero una comparación directa solo es posible con el mismo ciclo de prueba, lo cual no es común. Se emplean varios procedimientos para medir las emisiones de vehículos durante la aprobación del tipo, destacando los procedimientos de EE. UU. (FTP 75, SC03, US06), los ciclos EG ECE 15/04 y EG MVEG-A, y las pruebas japonesas de 10.15 modos, 11 modos en frío, y el nuevo ciclo JC08M introducido entre 2005 y 2011 (Basshuysen & Schaefer, 2016) (Ganesan, 2017).

Para medir las emisiones de escape de los vehículos de pasajeros directamente en la

línea de ensamblaje durante la aprobación del tipo, existen numerosos procedimientos prescritos en todo el mundo. Los procedimientos más importantes para los automóviles de pasajeros son:

Procedimiento de EE. UU. en su versión de 1975 (FTP 75) con los ciclos de prueba adicionales SC03 (con aire acondicionado) y US06 (conducción agresiva): El ciclo de prueba en carretera de EE. UU.

EG ECE 15/04, ciclo de prueba EG MVEG-A

Prueba japonesa de 10.15 modos, prueba en frío de 11 modos japonesa, de 2005 a 2011
Introducción del nuevo ciclo de prueba JC08M.

La Norma Técnica Ecuatoriana 2203 (NTE INEN 2203), también conocida como la Norma Ecuatoriana 2203, es una regulación obligatoria que establece límites de emisión para vehículos ligeros a gasolina que se venden en Ecuador. El propósito de la norma es reducir la contaminación del aire por parte de estos vehículos y proteger la salud pública.

Alcance:

La NTE INEN 2203 se aplica a vehículos ligeros nuevos a gasolina con un peso bruto vehicular (PBV) de hasta 3.500 kg, incluyendo automóviles, camionetas y SUVs. Establece límites para las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) en condiciones de ralentí y aceleración.

4.10 Control de emisiones

Los métodos de control de emisiones son esenciales debido a que el proceso de combustión en el ciclo de cuatro tiempos ocurre solo durante aproximadamente 25 a 50 ms, dependiendo de las condiciones operativas. Después de la combustión, los constituyentes del gas de escape que han sido parcialmente quemados continúan reaccionando durante la carrera de expansión y el proceso de escape. Para reducir las emisiones, se requieren algunos postratamientos con dispositivos adicionales.

4.10.1 Convertidores Térmicos

Estos dispositivos operan a altas temperaturas para promover la oxidación de CO y HC en el escape, reduciendo así las emisiones. Sin embargo, su implementación en automóviles presenta desafíos debido a limitaciones de espacio y problemas de temperatura en el compartimento del motor.

4.10.2 Convertidores Catalíticos

Los catalizadores son altamente efectivos para reducir emisiones y se encuentran en la mayoría de los automóviles. Pueden reducir la concentración de CO, HC y NOx en el escape a

temperaturas más bajas (250-300 °C) con la presencia de ciertos catalizadores como platino, paladio y rodio.

4.10.3 Arranques en Frío

Los convertidores catalíticos son menos eficientes en arranques en frío, siendo responsables de la mayoría de las emisiones de HC. Se han probado métodos de precalentamiento con resultados variables, incluyendo ubicación cercana al motor, aislamiento superior, precalentamiento eléctrico, calentamiento por llama y baterías térmicas.

4.10.4 Trampas de Partículas

Los motores de encendido por compresión utilizan trampas de partículas para reducir la liberación de partículas al ambiente. Estas trampas retienen partículas de hollín y se regeneran mediante la combustión de las partículas en exceso de oxígeno en el escape. Diversos métodos se utilizan para determinar la necesidad de regeneración, como la medición de la caída de presión y la transmisión de ondas de radio a través de la trampa. Sin embargo, las trampas de partículas actuales presentan desafíos en términos de costo, complejidad y durabilidad a largo plazo, especialmente en automóviles.

Las trampas de partículas en sistemas GDI funcionan de manera similar a las utilizadas en motores diésel. Consisten en un filtro que atrapa las partículas sólidas mientras permite que los gases de escape pasen a través de él. Periódicamente, el sistema regenera la trampa, quemando las partículas atrapadas para mantener su eficacia. Por lo general, la temperatura necesaria para iniciar y mantener la regeneración de una trampa de hollín está en el rango de los 550 a 600 grados Celsius.

La implementación de trampas de partículas en sistemas GDI es una medida importante para reducir las emisiones de partículas y cumplir con las regulaciones ambientales cada vez más estrictas en todo el mundo.

4.10.5 Tipos de combustibles

En el mercado ecuatoriano existen tres categorías de combustible que se comercializa comúnmente, estas se diferencian principalmente por la cantidad de octanos que tienen. El octanaje es la resistencia que tiene un combustible a auto encenderse o detonar, cuanto mayor es el valor de este, el combustible genera con una combustión más controlada y por lo tanto eficiente, ya que el mismo se combustionara únicamente con el aporte de la chispa (en motores a gasolina) (Hello auto, 2023).

Los combustibles comercializados en el Ecuador son los siguientes (Orozco, 2022).

- Extra o Ecopais - 85 octanos
- Eco plus – 89 octanos
- Premium 95 octanos

5 Metodología

Para la toma de datos nos sustentaremos en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: NTE INEN 2 203:2000 en la cual en su literal 5.4 nos menciona el procedimiento de medición para la realización de las pruebas, tomando estas instrucciones como guía procederemos a la realización de las pruebas.

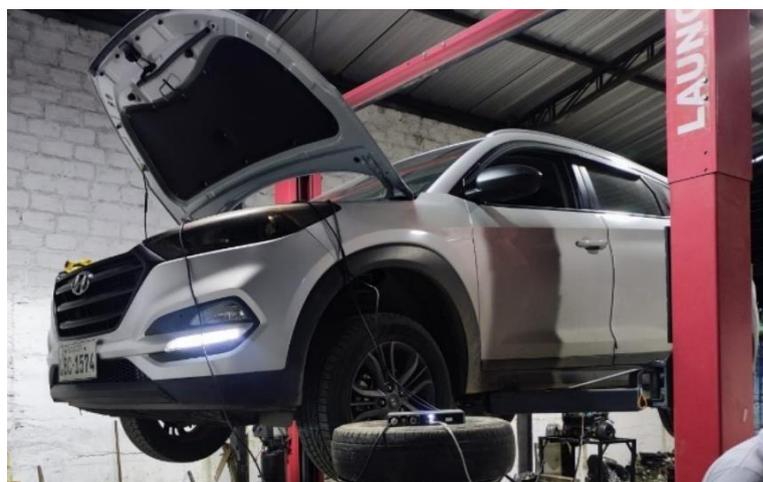
5.1 Equipos y Materiales

A continuación, se describen los equipos y materiales utilizados para la adquisición de datos al momento de la realización de las pruebas.

5.1.1 Vehículos

Como se observa en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11. Los vehículos utilizados son de la marca Hyundai, de tercera generación (2015-2020), modelo Tucson TL con un motor de cilindraje 2000cc y de los años: vehículo A-2018-150000km, vehículo B-2019-300000km, vehículo C-2020-65000km, como dato adicional se tiene de referencia que los vehículos utilizaban combustible Ecopais o extra.

Figura 9.
Vehículo A



Nota: fuente autor

Figura 10.
Vehículo B



Nota: fuente autor

Figura 11.
Vehículo C



Nota: fuente autor

Las características generales del vehículo utilizado se muestran a continuación en la Tabla 2, adicionalmente se puede verificar la ficha técnica del vehículo en el anexo I.

Tabla 2.
Especificaciones Técnicas del Vehículo

Parámetro	Descripción
Tipo de motor	2.0 DOCH CVVT
Cilindrada (cc)	1999
Tracción	2WD
Máxima potencia (cv/rpm)	155@6200
Máximo torque (kgm/rpm)	19,6@400
Transmisión	0
	6 AT secuencial

Nota: Motor Magazine, 2020,(p.2)

5.1.2 Analizador de gases

El dispositivo utilizado es el analizador de gases Capelec 3201 como se observa en la

Figura 12. Es un instrumento utilizado para cuantificar y analizar los gases de escape de los vehículos, Este tipo de analizadores son usualmente utilizados en centros de revisión técnica, talleres mecánicos y laboratorios de pruebas para determinar si los gases emitidos por un vehículo se encuentran dentro de los parámetros permitidos.

Figura 12.

Analizador de gases Capelec 3201



Nota: fuente autor

El Capelec 3201, específicamente, es un modelo de analizador de gases que proporciona mediciones precisas de los gases emitidos por un vehículo a través de su sistema de salida de gases, entre los gases emanados se pueden encontrar principalmente el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC). Estas mediciones son importantes para evaluar el rendimiento y la eficiencia del motor, así como para garantizar que el vehículo cumpla con las normativas ambientales.

Este tipo de analizador suele estar equipado con sensores y sondas especiales que se conectan al tubo de escape del vehículo para recoger muestras de los gases emitidos durante el funcionamiento del motor. Luego, el analizador procesa estas muestras y se visualiza los resultados en una pantalla, las características de este equipo se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3.

Propiedades del analizador de gases Capelec 3201	
Descripción	Valor o referencia
Analizador de 4 gases	CO, CO ₂ , HC, O ₂
Compatible con la norma	OIML R99 Clase 0 e ISO3930
Tiempo de calentamiento	inferior a 5mn a 20°
Extracción automática de la condensación	Si
Auto cero	cada 30mn, prioridad a la medición
Alimentación	115-230V 1,5A 47Hz a 63Hz
CO:	0 a 15% Escalón 0,01%
CO ₂ :	0 a 20% Escalón 0,1%
HC:	0 a 20 000 ppm Escalón 1 ppm
O ₂ :	0 a 25% Escalón 0,01%
Lambda:	0 a 9,999 Escalón 0,01 o 0,001
Temperatura de aceite	-5 a 150°C
RPM	0 a 9 999 RPM

Nota: Capelec, 2020, (P.2).

5.1.3 Osciloscopio

El dispositivo utilizado es un USB osciloscopio, o "USB scope" como se observa en la Figura 13, este tipo de osciloscopio se caracteriza porque se lo conecta a un ordenador a través de un puerto USB.

Un osciloscopio, que es un dispositivo utilizado para visualizar y analizar formas de onda eléctricas, ha sido tradicionalmente un dispositivo de medición electrónico independiente que requería su propia pantalla y controles. Sin embargo, como resultado de los avances tecnológicos, ahora se han desarrollado osciloscopios que pueden conectarse directamente a una computadora a través de un puerto USB.

Un osciloscopio USB normalmente consta de componentes de hardware y software. El hardware está conectado físicamente al circuito que se está probando, mientras que el software se ejecuta en la computadora y es responsable de controlar el dispositivo y mostrar las formas de onda. Esta integración de hardware y software ofrece numerosas ventajas, como la portabilidad, la facilidad de uso y la capacidad de almacenar y analizar datos directamente en la computadora.



Nota: fuente autor

5.1.4 Higrómetro

Es un dispositivo que se emplea para medir la humedad relativa del aire en un determinado ambiente como se observa en la Figura 14. La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que está presente en el aire en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura dada, este dato se expresa en unidad de porcentaje.

El higrómetro puede tener diferentes formas y métodos de funcionamiento. Algunos higrómetros utilizan cabello humano o animal, que cambia su longitud en función de la humedad, mientras que otros pueden emplear materiales cerámicos o polímeros que experimentan cambios dimensionales en respuesta a la humedad. También existen higrómetros electrónicos que utilizan sensores de humedad para medir la cantidad de vapor de agua en el aire, así mismo las características principales del equipo se muestra en la tabla 4.

Figura 14.



Nota: fuente autor

Tabla 4
Características principales del higrómetro HTC-2

Características de Higrómetro HTC-2	
Descripción	Valor o referencia
Rango de temperatura	-50 ° C a + 70 C (-58 ° F a +158 ° F)
Precisión de temperatura	+/- 1 ° C (18 ° F)
Resolución de temperatura	0.1°C (0.2 ° F)
Rango de humedad	10% RH-99% RH
Precisión de humedad	+/- 5% HR
Resolución de humedad	1%
Peso del dispositivo	126g

Nota: fuente manual de usuario

5.1.5 Escáner automotriz

El escáner automotriz que se utilizó es de marca FCAR como se observa en la figura 15. Es una herramienta electrónica que posee la capacidad de extraer e interpretar los códigos de error (DTC) que se almacenan en los diversos sistemas de un vehículo. Además, estos escáneres tienen la capacidad de proporcionar datos en tiempo real de los sensores y actuadores del vehículo, lo que permite a los especialistas obtener información valiosa sobre el funcionamiento de estos componentes cruciales. Además, estos escáneres están equipados con funciones de prueba específicas que permiten realizar evaluaciones exhaustivas de los sistemas del vehículo. En algunos casos, estos escáneres pueden incluso facilitar las funciones de programación y codificación para módulos específicos del vehículo.

Figura 15.
Figura 15.



Nota: Fuente autor

5.1.6 *Multímetro.*

El multímetro, que se emplea en la prueba se muestra en la Figura 16, este dispositivo tiene usos en varias industrias entre ellas la automotriz, es un instrumento muy valioso. Esta herramienta permite realizar varios tipos de mediciones, que incluyen mediciones de corriente, continuidad, diodos, resistencia y ancho de pulso en milisegundos para los inyectores, así como las tensiones, entre otros parámetros. En consecuencia, este equipo indispensable desempeña un papel fundamental en el análisis, la evaluación y el diagnóstico de los componentes eléctricos. (Fluke, 2022)

Figura 16.
Multímetro Digital



Nota: fuente autor

5.1.7 *Cámara termográfica*

La cámara termográfica utilizada para este proyecto es la FLIR ONE® Edge Pro como

se observa en la Figura 17, esta cámara es un dispositivo que está diseñada para la obtención de imágenes térmicas en conjunto con un dispositivo móvil al cual se conecta de forma inalámbrica para una mayor maniobrabilidad, sus características se observan en la Tabla 5

Figura 17.

Cámara Termográfica FLIR ONE® Edge Pro



Nota: fuente autor

Tabla 5.

Características de la FLIR ONE Edge Pro

PARÁMETRO	RANGO
Rango de medición de temperatura	-20°C a 410°C
Precisión de temperatura	± 2 °C o $\pm 2\%$ de la lectura, lo que sea mayor
Sensibilidad térmica (NETD)	<0.07 °C a 30 °C
Resolución térmica	160 x 120 píxeles
Campo de visión	54° x 42°
Frecuencia de actualización de imágenes	9 Hz
Conectividad	Bluetooth – wifi
Compatibilidad	iOS® 14 o superior Android™ 5.0 o superior
Duración de la batería	hasta 2.5 horas
Tipo de batería	Recargable de iones de litio
Clasificación IP	IP54 (resistente al polvo y al agua)
Dimensiones	70 mm x 35 mm x 14 mm
Peso	70 g

Nota: User’s manualFLIR ONE Edge series.

5.1.8 Mapa satelital de la ruta

En la Figura 18. Se muestra la ruta la cual se utilizó para el recorrido de los vehículos previo a cada realización de las pruebas, esto es impórtate para que el vehículo realice trabajo con el combustible designado en cada prueba, esta inicia desde el taller de la carrera de

ingeniería automotriz de la Universidad Nacional de Loja recorriendo la Av. Reinaldo Espinosa(A-B) continuando por la Av. Éxodo de Yangana(B-C) hasta el ingreso a la vía de integración barrial(C-D) por donde se retoma el recorrido hasta circunvalar en el redondel de chontacruz(D) retornando por la misma(D-E) vía hasta tomar de nuevo la Av. Reinaldo Espinosa culminando en el mismo punto.(E-A)

Figura 18.

Figura 18.

Ruta Seleccionada



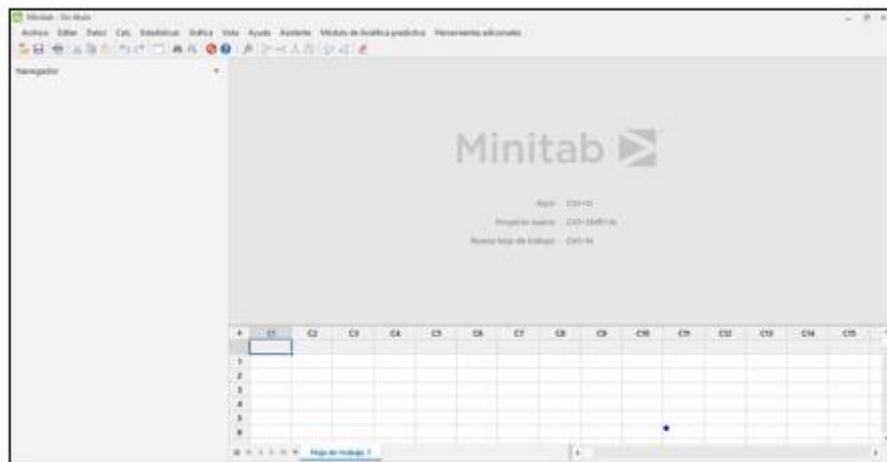
Nota: La distancia de la ruta es de 15 km aproximadamente, esta inicia y finaliza en el punto A, del punto B al C es una vía de perimetral, del punto C circunvalando el punto D hasta el punto E es una vía de integración barrial y del punto E al B es una vía urbana, durante el recorrido se procura mantener una velocidad comprendida entre 50 y 60km/h y toma un tiempo de entre 15 a 20 minutos completar el recorrido

5.1.9 Software estadístico

El software de análisis estadístico utilizado para identificar las diversas corridas experimentales en esta investigación en particular es Minitab, que ofrece la capacidad de ejecutar funciones que van desde las fundamentales hasta las más complejas en función de los requisitos específicos disponibles., a continuación, en la Figura 19 se muestra la interfaz de inicio de programa. (Minitab, 2023).

Figura 19.

Interfaz Inicial Software Minitab

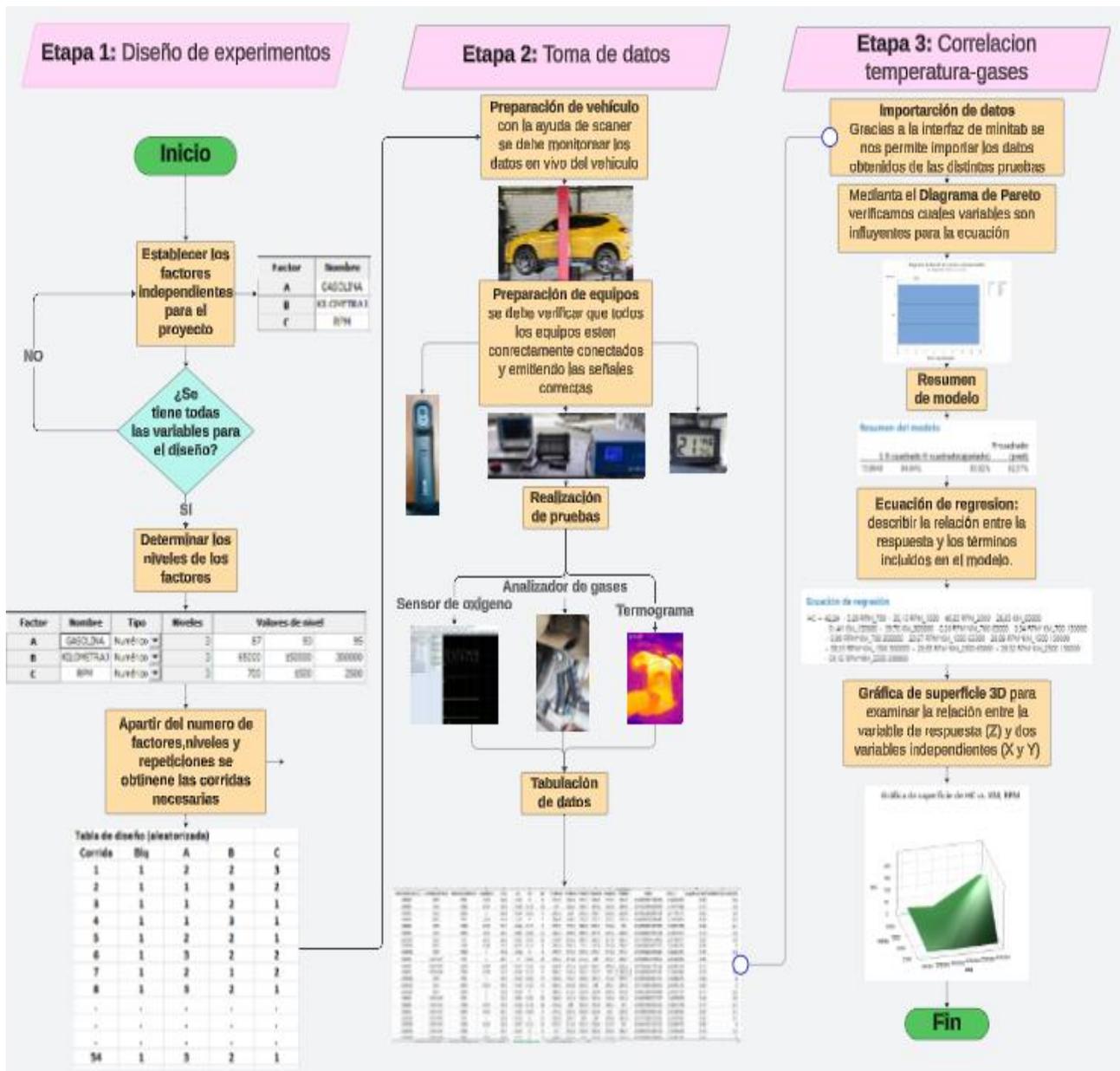


Nota: Grafico obtenido del software Minitab

5.2 Proceso Cronológico

El proyecto se desarrolló en 3 etapas como se ve a continuación en la Figura 20 la cual nos presenta el proceso cronológico del desarrollo de cada una de las etapas, la primera nos indica el diseño de experimentos tomando en cuenta los factores independientes para la investigación, continuando en la etapa dos en donde a partir del diseño de experimentos se obtiene el número de corridas necesarias para la obtención de datos necesarios para poder continuar con la etapa 3 en donde ingresamos los datos al software para obtener algunos resultados necesarios para el análisis.

Figura 20.
Flujograma Para Llevar a Cabo de Inicio a Fin del Proyecto de Trabajo de Titulación



Nota. Cada una de las etapas está enfocada al cumplimiento de los objetivos planteados.

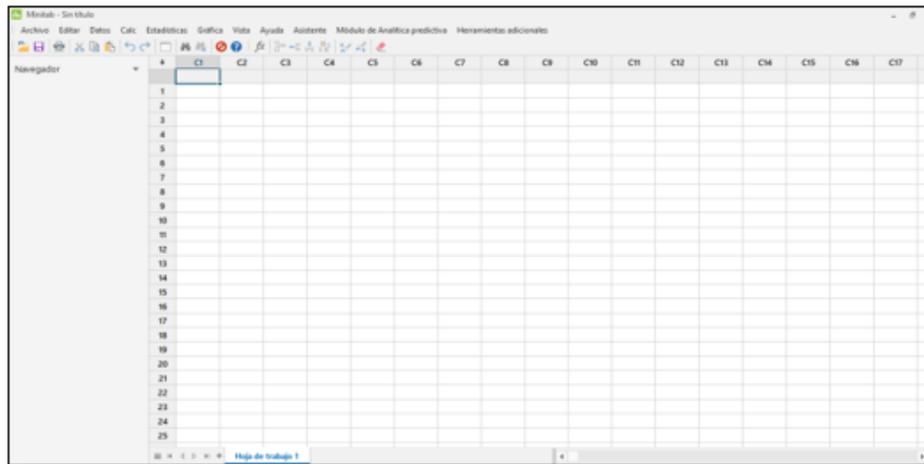
5.3 Diseño experimental

5.3.1 Minitab

El software de análisis estadístico empleado para determinar el número de corridas experimentales necesarias para este proyecto es Minitab, el cual a través de su interfaz nos permite realizar funciones desde las más básicas hasta las más avanzadas de acuerdo a las necesidades requeridas de cada caso, a continuación, en la Figura 21 se muestra la entrada de inicio del programa, además gracias a la interfaz del programa nos permite exportar datos directamente desde Microsoft Excel lo cual nos brinda una mayor facilidad en la comunicación de datos. El diseño factorial tiene como objetivo ofrecer una estrategia experimental que da

paso a investigar el impacto que múltiples factores pueden tener en una respuesta específica. En lugar de ajustar los niveles de los factores de forma individual durante un experimento, estos se alteran simultáneamente, lo que permite examinar las relaciones interconectadas y los impactos entre ellos. Este enfoque nos guía un análisis más completo de cómo los diversos factores interactúan e influyen en el resultado general del experimento. (Minitab, 2023).

Figura 21.
Interfaz Inicial Software Minitab

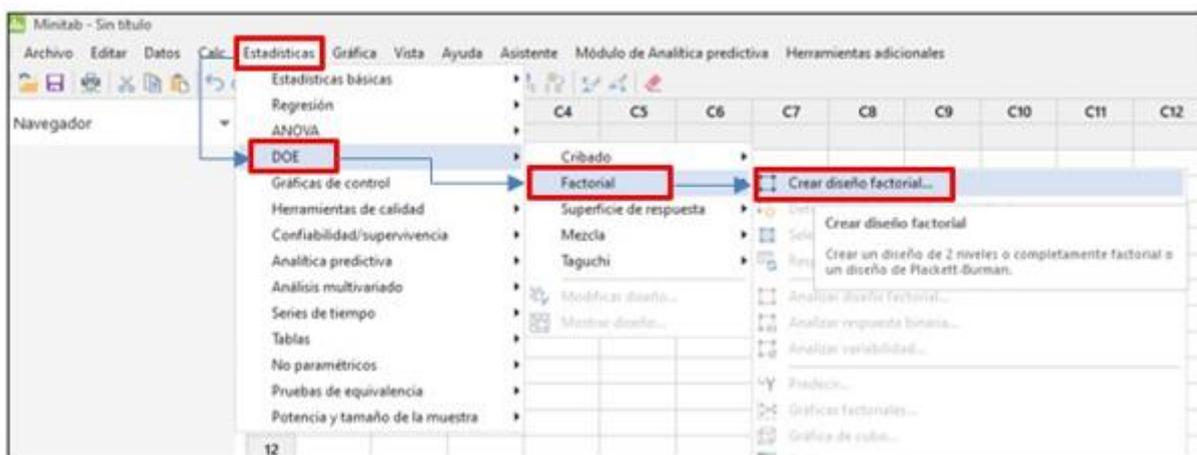


Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

5.3.2 Modelo Factorial

Una vez iniciado el programa Minitab, el proceso para realizar un diseño factorial se da ingresando al software en el icono de estadística a fin de que se desplegué la barra y con la finalidad de llegar a la sección de crear un diseño factorial como lo indica la Figura 22.

Figura 22.
Pasos Diseño Factorial

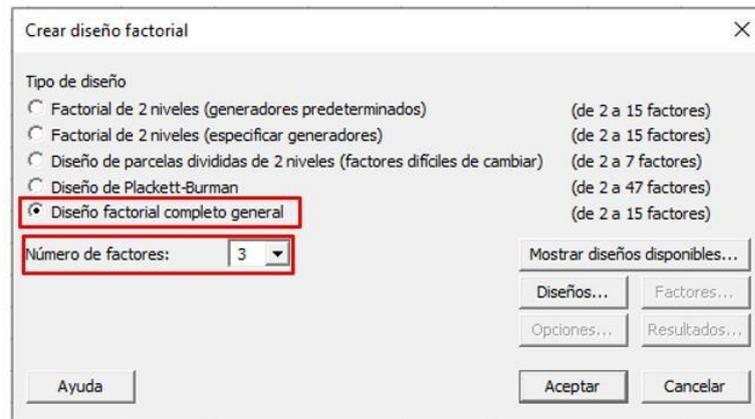


Nota: Proceso para la creación de un diseño factorial.

Continuando como se observa en la Figura 23 se determina el tipo de diseño factorial con el cual vamos a trabajar en el presente proyecto, el cual es “Diseño factorial completo general” adicional se configura el número de factores acorde a las variables

independientes previamente establecidas.

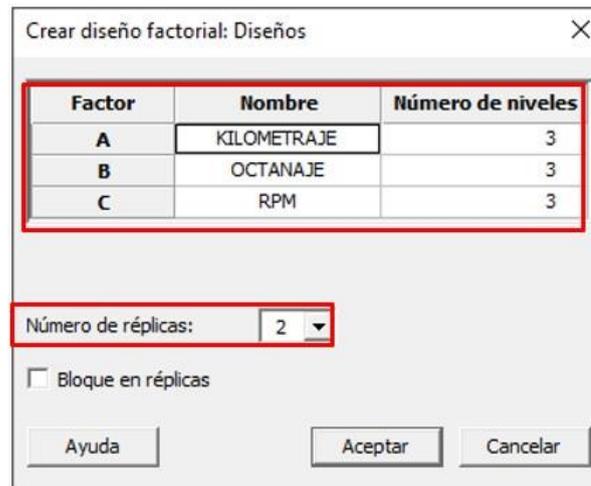
Figura 23.
Determinación del Diseño Factorial



Nota: Fuente (Autor)

Así mismo, definidos los 2 parámetros anteriores procedemos a definir en el apartado de Diseños el nombre de cada factor, el número de niveles de cada uno y el número de réplicas de los mismos, como se observa en la figura 24 para este proyecto definimos los factores de kilometraje, octanaje de combustible y revoluciones por minuto cada uno con 3 niveles y el número de replicas es de 2.

Figura 24.
Configuración del diseño factorial



Nota: Diseños factorial. Gráfico obtenido del software Minitab.

Una vez asignado los nombres a los factores, los niveles y el número de replicas en el apartado de “crear diseño factorial” (Figura 23) observamos que se habilita la opción de factores los cual nos permite asignar valores a los 3 niveles de cada factor como se observa en la figura 25, en este caso para el factor de kilometraje asignaremos los niveles de 65000, 150000 y 300000;

para el factor octanaje los valores serán de 87,93 y 95; por ultimo los valores para RPM son de 700(ralentí), 1500 y 2500; se debe tener en cuenta que hay que aplicar la aleatoriedad en las opciones de las condiciones o tratamientos a las pruebas o muestras esto es importante para reducir el sesgo y garantizar la validez de los resultados, ya que ayuda a evitar posibles sesgos sistemáticos en la recolección de datos.

Figura 25.
Configuración de valores de los niveles

Factor	Nombre	Tipo	Niveles	Valores de nivel		
A	KILOMETRAJ	Numérico	3	65000	150000	300000
B	OCTANAJE	Numérico	3	87	93	95
C	RPM	Numérico	3	700	1500	2500

Nota: Apartado: factores en el diseño factorial. Gráfico obtenido del software Minitab

Por tanto, una vez realizados todos estos pasos obtenemos un Diseño factorial de múltiples niveles, como se observa en la figura 26. El diseño factorial creado tiene expresado de una forma aleatoria todas las corridas experimentales de los tres factores cada una con sus respectivos niveles aleatorias que son generadas directamente por el software de Minitab, resultado un total de 54 corridas.

Figura 26.

Diseño factorial de múltiples niveles								
Resumen del diseño								
Factores: 3			Réplicas: 2					
Corridas base: 27			Total de corridas: 54					
Bloques base: 1			Total de bloques: 1					
Número de niveles: 3; 3; 3								
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	KILOMETRAJE	OCTANAJE	RPM	
1	10	1	1	1	150000	87	700	
2	1	2	1	1	65000	87	700	
3	23	3	1	1	300000	93	1500	
4	27	4	1	1	300000	95	2500	
5	5	5	1	1	65000	93	1500	
6	43	6	1	1	150000	95	700	
7	24	7	1	1	300000	93	2500	
8	25	8	1	1	300000	95	700	
9	33	9	1	1	65000	93	2500	
10	18	10	1	1	150000	95	2500	
11	7	11	1	1	65000	95	700	
12	54	12	1	1	300000	95	2500	
13	48	13	1	1	300000	87	2500	
14	46	14	1	1	300000	87	700	

Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

5.4 Obtención de datos.

5.4.1 Preparación de vehículo

Para llevar a cabo las pruebas se tiene a disposición tres vehículos de marca y modelo similares, lo que nos permitió probar y comparar minuciosamente su rendimiento bajo las distintas variables ya determinadas, previo a cada prueba todos los vehículos recorrieron la ruta (Figura18) establecida, a continuación cada vehículo es ingresado al taller y como se observa en la Figura 27, colocado en el elevador de vehículos todoesto tomando en cuenta todas las medidas de seguridad establecidas en las instalaciones.

Figura 27.
Vehículo colocado en elevador



Nota: Fuente (Autor)

5.4.2 Obtención de datos de cada instrumento de medición

Así mismo, una vez constatado que el vehículo se encuentre seguro en el elevador se

procede a conectar los equipos de medición. Para obtener los datos requeridos en cada una de las pruebas.

Sensor de oxígeno. _ Para obtener los datos de los sensores de oxígeno nos servimos del osciloscopio el cual a través de 2 de sus 4 canales nos permite obtener las ondas del sensor de oxígeno tanto, de entrada, así como el de salida, estas ondas se reflejan en el dispositivo conectado al osciloscopio como se observa en la Figura 28. Este dato es importante para determinar como primera inspección el estado del catalizador ya que la señal del sensor de oxígeno antes del catalizador es una onda y la señal después del catalizador, es casi una línea recta que no muestra mucha variación.

Figura 28.
Ondas de los sensores



Nota: En el canal 1 se observa la onda del sensor de entrada mientras que en el canal 2 se observa la onda del sensor de salida.

Analizador de Gases. _A través de una sonda conectada directamente a la salida del tubo de escape del vehículo el analizador de gases permite cuantificar los diferentes gases que emite el motor los cuales circulan por nuestro punto de interés, el catalizador, producto de la combustión, estos gases son procesados por la computadora del equipo y reflejados en la pantalla del mismo como se muestra en la Figura 29.

Figura 29.



Nota: a) sonda conectada al tubo de escape b) pantalla del analizador de gases

Regímenes de trabajo del motor. _Para definir las RPM nos ayudamos con el uso de un scanner automotriz el cual se conecta mediante sistema de comunicación OBD II y como se observa en la Figura 30 este nos permite determinar las revoluciones por minuto del motor. Se tiene en cuenta que es una prueba estática, las rpm se las obtiene con la ayuda de un anclaje directamente sobre el pedal de aceleración de cada vehículo y teniendo como tolerancia ± 50 rpm.

Figura 30.
Interfaz de escáner automotriz

ID	Name	Current values	Unit
3	Velocidad real del motor	1525	RPM
29	Posición del acelerador cerrado (inactivo)	DESACTIVADO 0	
47	El sensor de oxigeno está listo para la operación - Downstream (Banco 1)	ACTIVADO	
101	Voltaje de referencia del sensor 1 (TPS)	5.0	V

Nota: Tomado de scanner automotriz FCAR

Humedad y Temperatura. _ Con la ayuda de un higrómetro obtenemos la lectura de la humedad y temperatura más cercano al catalizador como se observa en la figura 31, estos datos nos sirven para a través del software **flir thermal studio** configurar el termograma para obtener la medida más precisapible.

Figura 31.

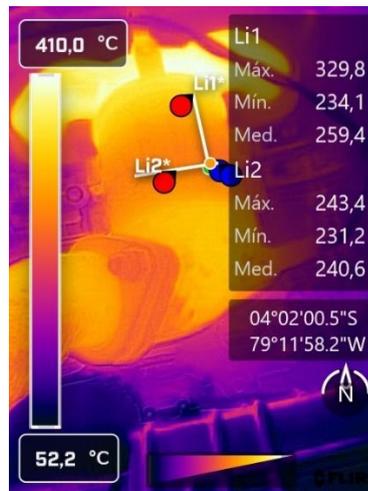
Higrómetro



Nota: fuente autor

Termograma. _ A través de la cámara termográfica una vez alcanzada la temperatura normal de trabajo del motor, se procede a capturar el termograma del catalizador como se observa en la Figura 32.

Figura 32.
Termograma del catalizador



Nota: fuente autor

5.4.3 Tabulación de datos

Los datos que se han generado se almacenan primero en hojas de trabajo antes de clasificarlos meticulosamente en la base de datos y luego organizarlos de manera sistemática. Este proceso garantiza que la información esté bien organizada y sea fácilmente accesible para su análisis e interpretación. En la Figura 33, se puede observar cómo se estructuran los datos en Excel en un formato secuencial para facilitar la exportación de datos al software Minitab.

Figura 33.

Tabulación de Datos

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	KM VEHICULO	COMBUSTIBLE	RPM ESTIMADA	LAMBDA	CO2	CO	HC	TVMAX	TVMIN	TVPRO	THMAX	THMIN	THPRO	RMS	RMS2	amplitud ENTRAC	AMPLITUD SALIDA	
2	60000	ECO	700	1,06	14,6	1,36	0	191,9	160,6	173,1	166,9	157,2	163,7	0,9602932193036	2,4041631	3,60	3,4	
3	60000	ECO	1500	0,99	15,5	-0,05	0,15	24	227	184,2	198,7	189,4	181,6	0,9737265415550	2,7577164	3,72	3,9	
4	60000	ECO	2500	1	15,6	-0,06	0,02	0	294,2	231	249,1	246,7	225,2	0,9391159299416	2,4748737	3,82	3,5	
5	60000	ECO	700	1,06	14,3	1,16	0	7	193,8	169,4	178,5	177,7	167,1	0,9636678200692	2,5455844	3,60	3,6	
6	60000	ECO	1500	0,99	15,1	-0,04	0,15	7	228,2	197,5	208,8	203,2	192,6	0,9678391959799	2,8991378	3,68	4,1	
7	60000	ECO	2500	1,02	15,3	0,46	0,04	13	300,3	245,5	260,9	257,9	229,1	0,9204499799116	2,2627417	3,74	3,2	
8	120000	ECO	700	1,03	15,1	0,62	0,03	29	178,6	162,1	166,4	163,2	157,8	0,9776951672862	2,5455844	3,50	3,6	
9	120000	ECO	1500	0,99	15,4	-0,05	0,14	8	236,6	206,5	215	212,8	201,9	0,9628040057225	2,8284271	3,80	4	
10	120000	ECO	2500	1	15,6	-0,04	0	0	277,5	223,3	235,9	239,1	217,6	0,9335049335049	2,4041631	3,78	3,4	
11	60000	ECO-SUP	700	1	15,7	0	0,02	20	190,2	157,8	171,1	164	154,7	0,9628633478531	2,6162951	3,60	3,7	
12	60000	ECO-SUP	1500	0,99	15,6	-0,04	0,31	22	242,8	197,1	211,8	205,7	196,3	0,9761312779712	2,8284271	3,75	4	
13	60000	ECO-SUP	2500	0,99	15,7	-0,06	0,13	0	309,1	243,4	263,2	255,7	237	0,9560306575232	2,5455844	3,70	3,6	
14	120000	ECO	700	1	15,5	-0,03	0,03	23	186,6	155,2	168,6	161,3	152,5	0,9585166561911	2,8284271	3,60	4	
15	120000	ECO	1500	0,99	15,4	-0,05	0,19	34	206,1	183,8	191,5	188	180,7	0,9772850189292	2,8284271	3,80	4	
16	120000	ECO	2500	1	15,6	-0,06	0	0	298,5	241,4	255,9	250,9	236,3	0,9621335504886	2,2627417	3,74	3,2	
17	60000	ECO-SUP	700	1	15,5	0,08	0,03	83	184,8	161,3	196,6	165,4	156,6	0,9648798521257	2,6870058	3,60	3,8	
18	60000	ECO-SUP	1500	0,99	15,5	-0,04	0,18	38	223,4	188	202,8	197,8	186,1	0,9692708333333	2,8991378	3,77	4,1	
19	60000	ECO-SUP	2500	0,99	15,7	-0,06	0,06	5	274,2	230,3	245,6	242,8	224	0,9495548961424	2,6162951	3,80	3,7	
20	120000	ECO-SUP	700	1	15,6	-0,04	0	25	205,9	190,7	196	196	188,6	0,9777086573354	2,6162951	3,60	3,7	
21	120000	ECO-SUP	1500	0,99	15,4	-0,07	0,22	23	257,2	221,9	233,3	228,6	214,7	0,9542222222222	2,8284271	3,80	4	
22	120000	ECO-SUP	2500	1	15,7	-0,07	0	0	311	262,4	276,8	269,4	256,5	0,9690215338119	1,5556349	3,74	2,2	
23	120000	ECO-SUP	700	1,01	15,6	-0,11	0	0	192,1	171,1	191	191,6	171,8	0,9739853178953	2,8284271	3,45	4	

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel.

5.5 Correlación de datos

5.5.1 Datos

Los datos obtenidos en las pruebas ya tabuladas procedemos a exportarlos al software de Minitab cada dato con su respectiva corrida como se observa en la Figura 34.

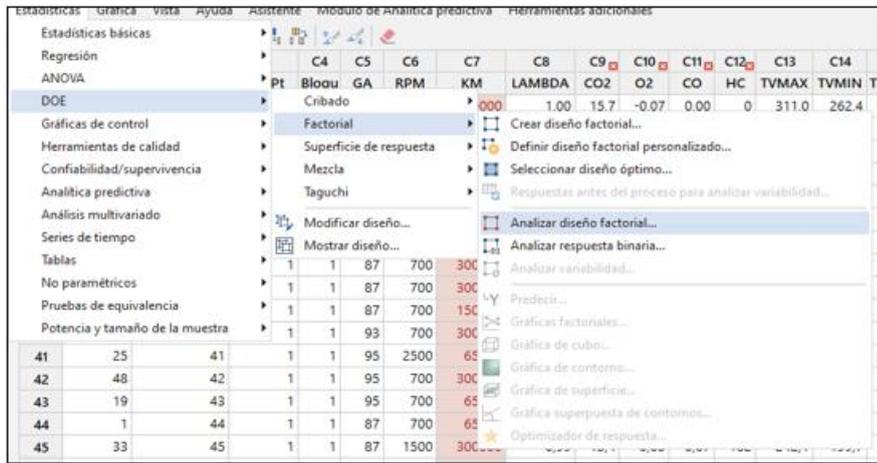
Figura 34. Datos en Minitab

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloqu	GA	RPM	KM	LAMBDA	CO2	O2	CO	HC	TVMAX	TVMIN	TVPRO	THMAX	THMIN	THPRO	RMS	RMS2
30	44	30	1	1	93	2500	150000	1,00	15,7	-0,07	0,00	0	311,0	262,4	276,8	269,4	256,5	264,7	0,96902>>	1,55563
31	52	31	1	1	95	2500	65000	0,99	16,6	-0,08	0,12	0	351,3	276,8	296,0	289,5	265,5	281,1	0,94450>>	2,54558
32	10	32	1	1	93	700	65000	1,00	15,7	0,00	0,02	20	190,2	157,8	171,1	164,0	154,7	160,7	0,96266>>	2,61630
33	26	33	1	1	95	2500	150000	1,00	15,6	-0,07	0,00	0	342,6	272,7	291,1	282,4	272,1	278,3	0,97772>>	2,54558
34	17	34	1	1	93	2500	150000	1,00	15,8	-0,07	0,00	0	328,2	283,9	299,2	291,0	278,5	286,6	0,97173>>	2,26274
35	13	35	1	1	93	1500	65000	0,99	15,5	-0,04	0,18	38	223,4	188,0	202,8	197,8	186,1	192,0	0,96927>>	2,89914
36	43	36	1	1	93	2500	65000	0,99	15,7	-0,06	0,06	5	274,2	230,3	245,6	242,8	224,0	235,9	0,94955>>	2,61630
37	3	37	1	1	87	700	300000	1,01	15,3	0,67	0,44	237	177,3	147,5	156,8	149,6	147,4	148,7	0,99125>>	0,35355
38	30	38	1	1	87	700	300000	1,00	15,3	0,04	0,07	89	227,5	215,9	220,4	231,0	223,8	228,3	0,98028>>	2,54558
39	2	39	1	1	87	700	150000	1,00	15,5	-0,03	0,03	23	186,6	155,2	168,6	161,3	152,5	159,1	0,95851>>	2,82843
40	39	40	1	1	93	700	300000	0,99	15,7	0,03	0,06	102	190,5	167,4	173,8	173,1	166,4	170,8	0,97423>>	0,38891
41	25	41	1	1	95	2500	65000	0,99	15,8	-0,05	0,13	1	327,8	266,9	286,0	281,5	257,2	271,8	0,94628>>	2,54558
42	48	42	1	1	95	700	300000	1,01	15,5	0,39	0,21	132	184,5	153,1	160,9	155,7	153,2	154,5	0,99158>>	1,02530
43	19	43	1	1	95	700	65000	1,00	15,7	0,05	0,00	27	210,4	184,9	193,8	191,9	181,5	188,0	0,96542>>	2,54558
44	1	44	1	1	87	700	65000	1,06	14,6	1,36	0,00	0	191,9	160,6	173,1	166,9	157,2	163,7	0,96029>>	2,40416
45	33	45	1	1	87	1500	300000	0,99	15,4	-0,05	0,07	182	242,1	199,7	208,7	206,6	199,2	204,9	0,97218>>	2,61630
46	35	46	1	1	87	2500	150000	1,00	15,6	-0,06	0,00	0	298,5	241,4	255,9	250,9	236,3	245,6	0,96213>>	2,26274
47	37	47	1	1	93	700	65000	1,00	15,5	0,08	0,03	83	184,8	161,3	196,6	165,4	156,6	162,3	0,96487>>	2,68701
48	47	48	1	1	95	700	150000	1,00	15,6	-0,06	0,02	5	208,3	181,9	190,7	187,7	180,2	184,3	0,97775>>	2,68701
49	50	49	1	1	95	1500	150000	0,99	15,5	-0,07	0,20	17	250,9	209,9	221,9	213,3	206,3	210,5	0,98004>>	2,82843
50	28	50	1	1	87	700	65000	1,06	14,3	1,16	0,00	7	193,8	169,4	178,5	177,7	167,1	173,4	0,96366>>	2,54558
51	32	51	1	1	87	1500	150000	0,99	15,4	-0,05	0,19	34	206,1	183,8	191,5	188,0	180,7	184,9	0,97728>>	2,82843
52	12	52	1	1	93	700	300000	1,00	15,6	0,03	0,07	86	226,7	211,2	216,8	224,8	216,9	222,4	0,97526>>	2,30988
53	21	53	1	1	95	700	300000	1,00	15,4	0,06	0,11	87	226,5	211,3	217,3	227,8	219,1	224,7	0,97507>>	2,45130
54	22	54	1	1	95	1500	65000	0,99	15,7	-0,06	0,19	27	248,5	205,2	219,6	214,9	203,8	209,9	0,97093>>	2,82843

Nota: Gráfico obtenido del software Minitab; TVMAX: temperatura vertical máxima; TVMIN: temperatura vertical mínima; TVPRO: temperatura vertical promedio; THMAX: temperatura horizontal máxima; THMIN: temperatura horizontal mínima; THPRO: temperatura horizontal máxima; RMS: valor eficaz cuadrático de entrada; RMS2: valor eficaz cuadrático de salida.

Posteriormente como se observa en la Figura 35 ejecutamos el comando “Analizar diseño factorial” lo cual al ejecutarse nos brinda un análisis general de la regresión factorial.

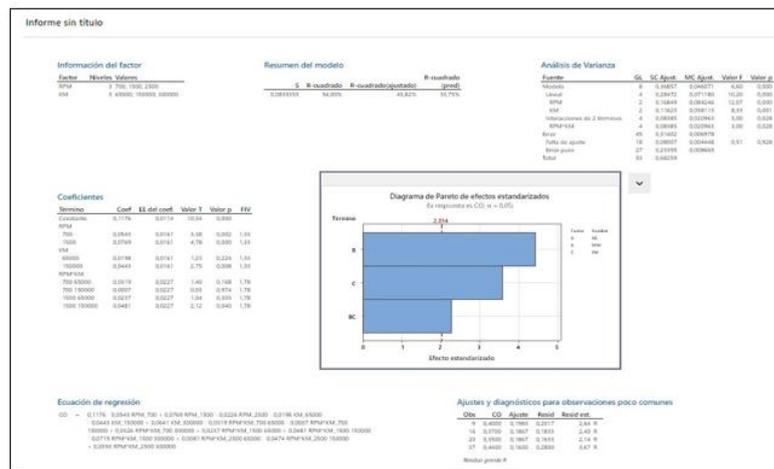
Figura 35.
Análisis diseño factorial



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

Luego de haber ejecutado el comando previamente descrito el software nos da como resultado un informe de regresión factorial general como se observa en la Figura 36 dentro del cual se encuentran varios parámetros:

Figura 36
Regresión factorial general



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

- Información del factor
- Análisis de varianza
- Resumen del modelo
- Coeficientes
- Ecuación de regresión
- Ajustes y diagnóstico para observaciones poco comunes

- Diagrama de Pareto
- Gráficas de residuos

5.5.2 *Análisis de los resultados del modelo factorial en Minitab*

Para una correcta interpretación de los resultados de un diseño factorial, se debe entender los parámetros establecidos en los coeficientes que intervienen en el diagrama de Pareto, gráficas de efectos principales, gráficas de contornos y superficies, valores p y los datos estadísticos de resumen del modelo.

Resumen del Modelo. Se emplea el resumen para determinar que tan bien se ajusta el modelo a los datos. La desviación estándar (S) describe evalúa que tan bien el modelo describe la respuesta, mientras más bajos sean los valores el estudio será más acertado, el R2 representa el porcentaje de variación en la respuesta, esto quiere decir que tan ajustado se encuentra el modelo con los datos proporcionados, entre más se acerque al 100% mejor se ajustará al modelo, el R2 ajustado se complementa con el R2 pero se ajusta para el número de predictores existentes en el modelo, se puede usar como comparación entre varios modelos, finalmente el R2 predictivo como su palabra lo expresa es la capacidad de predicción del modelo, es decir, determina qué tan favorable es el modelo para futuras investigaciones (Minitab, 2023).

Diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto de efectos estandarizados muestra la significancia estadística que tienen las diferentes variables de mayor a menor y por ende se puede determinar cuáles son más influyentes para el análisis, para entender esta importancia partimos de la línea de referencia en este caso determinado por alfa ($\alpha = 0.05$) el cual impone el nivel de significancia del estudio dando como resultado los diagramas (Minitab, 2023).

Valor p. Describe el análisis de varianza que tiene este estudio, los valores se tienen que encontrar en cero o por debajo del 5% tomando como umbral un nivel de significancia de 0.05 para el estudio, esto indica que los términos de la fuente son considerables en el modelo, es decir existe una relación significativa entre las variables de respuestas y los términos utilizados (Minitab, 2023).

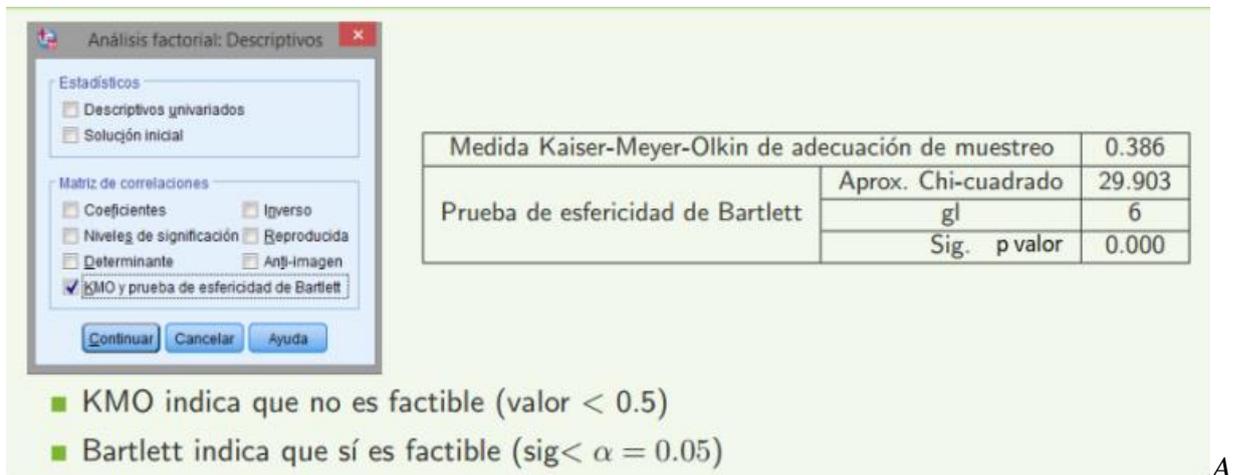
Gráficas de Superficies. Las representaciones gráficas de superficie 3D y las gráficas de malla 3D, son herramientas que puede emplear para investigar la posible relación entre tres variables, es decir, estas gráficas también permiten visualizar la relación tridimensional entre las variables y ofrecen una perspectiva más completa de cómo interactúan entre sí. Además, se

obtiene la ecuación de regresión que es una representación de la relación existente entre la respuesta obtenida con todos los términos utilizados en el modelo (Minitab, 2023).

5.5.3 Verificación de datos

Para la verificación de datos se utiliza el software estadístico IBM SPSS Statistics el cual nos permite realizar un análisis KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) y Bartlett aplicando un test de pertinencia del análisis factorial y con esto se evalúa la influencia de cada uno de los factores de salida en el estudio. Una vez ingresados los datos procedemos a configurar el análisis factorial como se observa en la Figura 37.

Figura 37.
Análisis factorial



Nota: valores nominales

Se tiene como índice de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) la Figura 38.

Figura 38.

Indicador de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} p_{ij}^2},$$

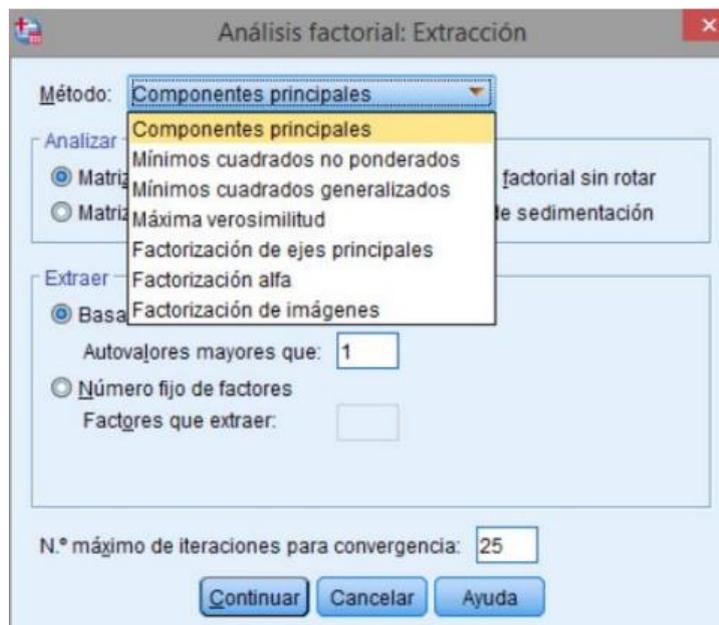
siendo p_{ij} el coeficiente de correlación parcial.
Validez

- $KMO \geq 0.75 \rightarrow$ Bien
- $0.5 \leq KMO < 0.75 \rightarrow$ Aceptable
- $KMO < 0.5 \rightarrow$ No aceptable

Nota: Se calcula un rango de valores, y si está por encima de 0.75 es aceptable si está por debajo de 0.5 no es recomendable continuar.

Se debe seleccionar el método de extracción con el que sea más idóneo trabajar para este caso es el de componentes principales como se observa en la Figura 39.

Figura 39.
Método de extracción



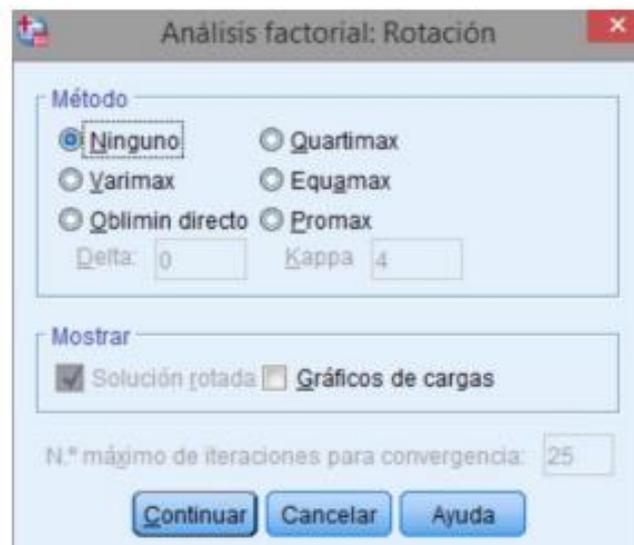
Nota: se obtiene la mayor información de los datos y se tergiversa menos en los datos finales.

Se debe tener en cuenta que los datos proporcionados son complejos de analizar por lo cual se opta por aplicar el método de rotación para lo cual existen dos tipos:

- Rotación ortogonal: Obtención de la matriz ortogonal.
- Rotación oblicua: Obtención de la matriz no singular T.

Para el presente trabajo se realizará la rotación ortogonal varimax la cual minimiza el número de variables con carga elevada. Figura 40.

Figura 40.
Rotación ortogonal varimax.



Nota: fuente autor

6 Resultados

6.1 Análisis del diseño factorial Minitab

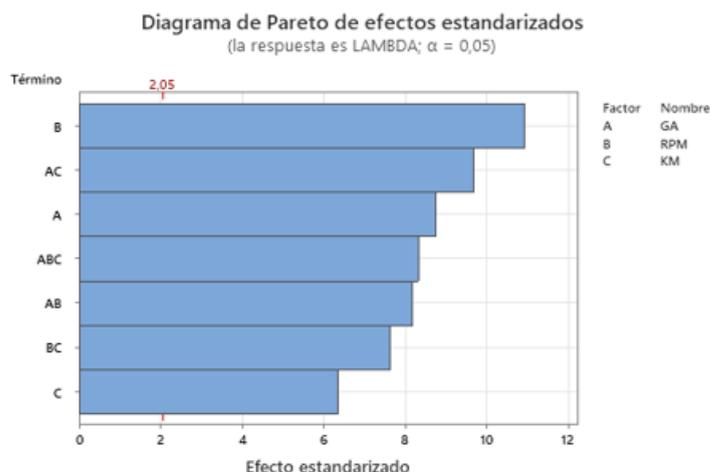
El diseño factorial muestra una variedad de resultados que sirven como base para determinar si el diseño está funcionando a su máxima eficiencia. Dentro de estos resultados, la atención se centra principalmente en identificar los parámetros clave que más influyen en los resultados, como el diagrama de Pareto, la desviación estándar, el valor p y el resumen del modelo, así como las representaciones visuales en forma de gráficos de efectos principales, de superficie.

6.1.1 Resultados del factor lambda generados por el diseño factorial

Diagrama de Pareto del Factor Lambda. En la Figura 41 se muestra los factores que influyen en el modelo del factor lambda, en este caso los factores de octanaje de combustible, las revoluciones por minuto y el kilometraje influyen en el modelo y todas sus combinaciones.

Figura 41.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de lambda



Nota: Todos los factores intervienen en el modelo; GA: octanaje del combustible; RPM: revoluciones por minuto; KM: kilometraje

Resumen del modelo del factor lambda. En la Tabla 6 se observa el resumen del modelo el cual nos da un R-cuadrado de 97.1% y un R-cuadrado(ajustado) de 94.3% lo cual nos indica una alta fiabilidad en el modelo.

Tabla 6.*Resumen del modelo del factor lambda*

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0033333	97,10%	94,30%	88,39%

Nota: Los valores indican alta fiabilidad del modelo.

Valor P del modelo del factor lambda. En la Tabla 7 se muestra los valores de p los cuales deben ser de 0 o por debajo del 0.05 esto nos indica que valores son útiles para el modelo.

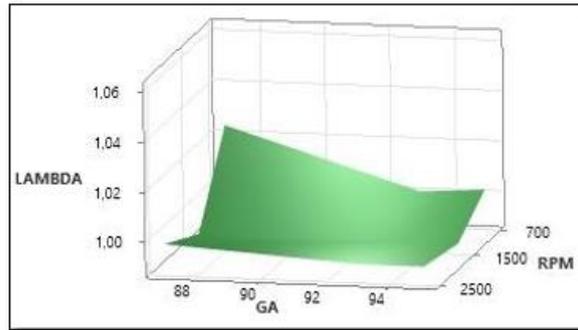
Tabla 7.*Valores de "P" del factor lambda*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	26	0,010033	0,000386	34,73	0,000
Lineal	6	0,004789	0,000798	71,83	0,000
GA	2	0,001011	0,000506	45,50	0,000
RPM	2	0,003233	0,001617	145,50	0,000
KM	2	0,000544	0,000272	24,50	0,000
Interacciones de 2 términos	12	0,003656	0,000305	27,42	0,000
GA*RPM	4	0,001122	0,000281	25,25	0,000
GA*KM	4	0,001544	0,000386	34,75	0,000
RPM*KM	4	0,000989	0,000247	22,25	0,000
Interacciones de 3 términos	8	0,001589	0,000199	17,88	0,000
GA*RPM*KM	8	0,001589	0,000199	17,88	0,000
Error	27	0,000300	0,000011		
Total	53	0,010333			

Nota: Los valores menores a 0.05 son incluidos en el modelo.

Grafica de superficie del modelo del factor lambda. En la figura 42 se observa la gráfica del modelo del factor lambda el cual nos indica que el motor trabaja con una mezclapobre con el combustible de menor octanaje y en estado de trabajo a ralentí.

Figura 42.
Gráfica de Superficie del Modelo Lambda

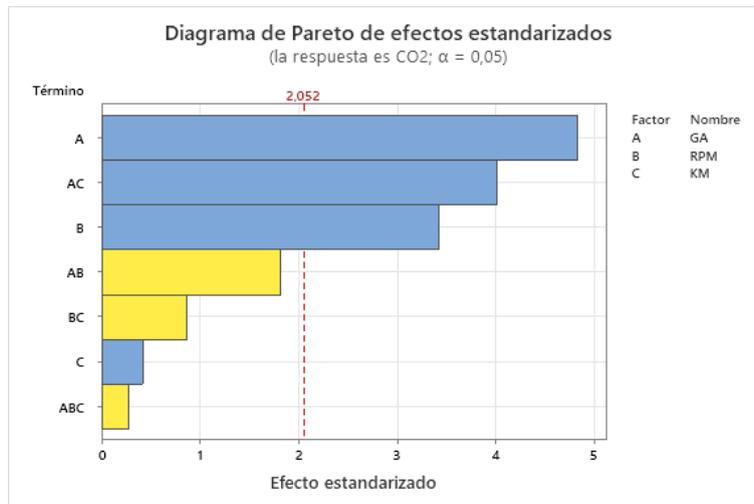


Nota: la gráfica muestra una mezcla pobre en el factor rpm más bajo.

6.1.2 Resultados del factor CO2 generados por el diseño factorial

Diagrama de Pareto del Factor CO2. En la Figura 43 se muestra de color celeste los factores que influyen en el modelo, en este caso el octanaje de combustible, las revoluciones por minuto y el kilometraje; mientras que de color amarillo se muestran los factores que no influyen en el modelo.

Figura 43.
Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados de CO2



Nota: Si bien el kilometraje como factor independiente no influye en el modelo se lo toma en cuenta debido a que está inmerso en un factor combinado.

Resumen del modelo del factor CO2. En la Tabla 8 se observa el resumen del modelo el cual nos da un R-cuadrado de 62.37% y un R-cuadrado(ajustado) de 53.62% lo cual nos indica una baja fiabilidad en el modelo.

Tabla 8.*Resumen de modelo del factor lambda*

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,236067	62.37%	53.62%	40.66%

Nota: los valores indican que el modelo no es confiable.

Valor P del modelo del factor CO2. En la Tabla 9 se muestra los valores de p los cuales deben ser de 0 o por debajo del 0.05 esto nos indica que valores son útiles para el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de kilometraje no es útil para el modelo.

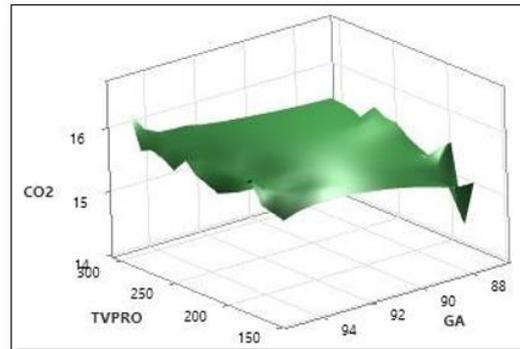
Tabla 9.*Valores de "P". del factor lambda*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	3,97185	0,39719	7,13	0,000
Lineal	6	2,44000	0,40667	7,30	0,000
GA	2	1,55815	0,77907	13,98	0,000
RPM	2	0,84037	0,42019	7,54	0,002
KM	2	0,04148	0,02074	0,37	0,691
Interacciones de 2 términos	4	1,53185	0,38296	6,87	0,000
GA*KM	4	1,53185	0,38296	6,87	0,000
Error	43	2,39630	0,05573		
Falta de ajuste	16	0,96630	0,06039	1,14	0,370
Error puro	27	1,43000	0,05296		
Total	53	6,36815			

Nota: los valores menores a 0.05 son incluidos en el modelo y se excluye el factor de kilometraje que cuenta con un valor superior a 0.05.

Grafica de superficie del modelo del factor CO2. En la Figura 44 se observa la gráfica del modelo del factor CO2, la cual nos indica que existe una mayor emisión de este gas con un combustible de mayor octanaje y a una mayor temperatura del catalizador, mientras que el valor más bajo se encuentra en la intersección del punto con menor octanaje y menor temperatura eso se establece en el vehículo A en 700 rpm y se debe tener en cuenta que es con un factor lambda de 1.06 lo que nos indica que es ligeramente pobre además se debe tener en consideración que el CO2 es producto de la oxidación de CO por los que el valor de este gas es el causante de que el valor de CO2 sea contrario al factor de temperatura por cuanto se obtiene del vehículo con menor kilometraje y en este valor de CO2 se relaciona directamente con el factor de CO que es de 0.

Figura 44.
Gráfica de superficie del factor CO2



Nota: Fuente (Autor)

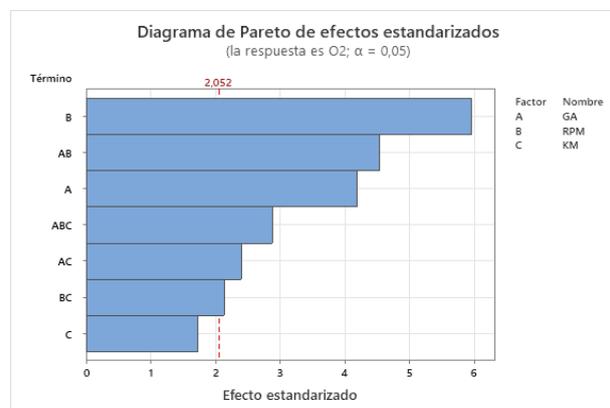
Ecuación de Regresión del factor CO2. En la siguiente ecuación de regresión se puede observar de forma algebraica los factores del CO2 que influyen en el estudio.

$$\begin{aligned}
 CO2 = & 15,5852 - 0,2296 GA_{87} + 0,0537 GA_{93} + 0,1759 GA_{95} - 0,1519 RPM_{700} - 0,0019 RPM_{1500} \\
 & + 0,1537 RPM_{2500} - 0,0074 KM_{65000} - 0,0296 KM_{150000} + 0,0370 KM_{300000} \\
 & - 0,2815 GA * KM_{87\ 65000} + 0,1074 GA * KM_{87\ 150000} + 0,1741 GA * KM_{87\ 300000} \\
 & - 0,0148 GA * KM_{93\ 65000} + 0,0074 GA * KM_{93\ 150000} + 0,0074 GA * KM_{93\ 300000} \\
 & + 0,2963 GA * KM_{95\ 65000} - 0,1148 GA * KM_{95\ 150000} - 0,1815 GA * KM_{95\ 300000}
 \end{aligned}$$

6.1.3 Resultados del factor O2 generados por el diseño factorial

Diagrama de Pareto del Factor O2. En la Figura 45 se muestra de color celeste los factores que influyen en el modelo, en este caso el octanaje de combustible, las revoluciones por minuto y si bien el kilometraje no influye de forma individual lo hace mediante varias combinaciones.

Figura 45.
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de O2



Nota: Si bien el kilometraje como factor independiente no influye en el modelo se lo toma en cuenta debido a que está inmerso en varios factores combinados.

Resumen del modelo del factor O2. En la Tabla 10 se observa el resumen del modelo el cual nos da un R-cuadrado de 85.47% y un R-cuadrado(ajustado) de 71.48% lo cual nos indica una baja fiabilidad en el modelo.

Tabla 10.
Resumen de modelo del factor O2

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,152455	85.47%	71.48%	41.89%

Nota: Los valores indican que el modelo es confiable

Valor P del modelo del factor O2. En la Tabla 11 se muestra los valores de p los cuales deben ser de 0 o por debajo del 0.05 esto nos indica que valores son útiles para el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de kilometraje no es útil para el modelo.

Tabla 11.
Valores de "P" del factor O2

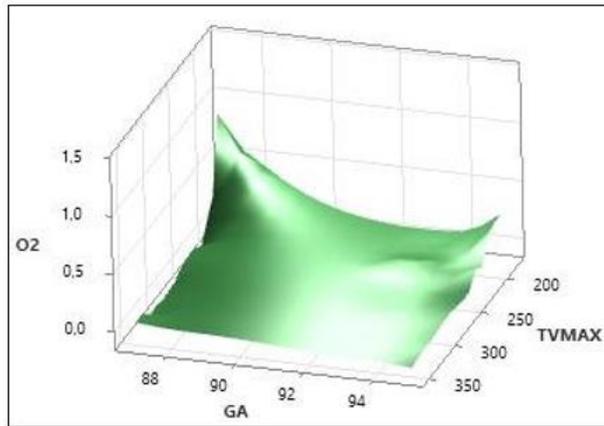
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	26	3,6921	0,14200	6,11	0,000
Lineal	6	1,6555	0,27591	11,87	0,000
GA	2	0,5258	0,26290	11,31	0,000
RPM	2	1,0105	0,50526	21,74	0,000
KM	2	0,1192	0,05958	2,56	0,096
Interacciones de 2 términos	12	1,4011	0,11676	5,02	0,000
GA*RPM	4	0,8223	0,20557	8,84	0,000
GA*KM	4	0,3123	0,07806	3,36	0,024
RPM*KM	4	0,2666	0,06665	2,87	0,042
Interacciones de 3 términos	8	0,6355	0,07944	3,42	0,008
GA*RPM*KM	8	0,6355	0,07944	3,42	0,008
Error	27	0,6275	0,02324		
Total	53	4,3197			

Nota: Los valores menores a 0.05 son incluidos en el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de kilometraje de manera individual no influye en el modelo, pero se lo toma en cuenta por cuanto está inmerso en combinaciones.

Grafica de superficie del modelo del factor O2. En la Figura 46 se observa la gráfica del modelo del factor O2, la cual señala que existe una mayor emisión de este gas con un combustible de menor octanaje y a una menor temperatura del catalizador, mientras que el valor más bajo se encuentra en la intersección del punto con mayor octanaje y mayor temperatura.

Figura 46.

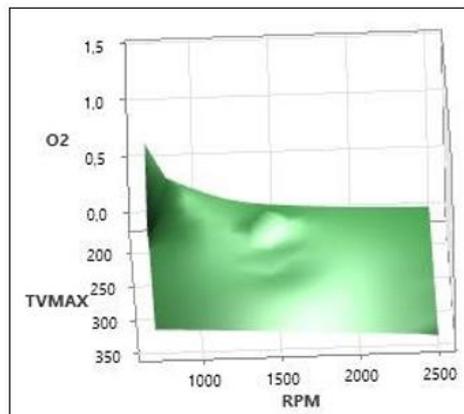
Gráfica de Superficie del Factor O2 vs Octanaje y Temperatura



Nota: Gráfica obtenida de software Minitab

A continuación, en la figura 47 se muestra la gráfica de correlación entre el gas de respuesta y las variables de rpm y temperatura en donde se nos muestra que existe una mayor presencia de este gas a ralentí y menor temperatura, por el contrario, el valor más bajo se encuentra en el punto de intersección entre las rpm más elevadas y mayor temperatura

Figura 47. Gráfica de Superficie del Factor O2 vs rpm y Temperatura



Nota: Gráfica obtenida de software Minitab

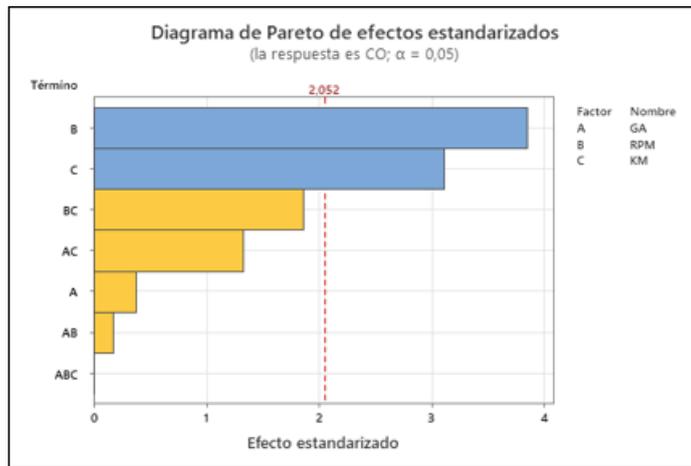
Ecuación de Regresión del factor O2. En la siguiente ecuación de regresión se puede observar de forma algebraica los factores del O2 que influyen en el estudio.

$$\begin{aligned}
 \text{O2} = & 0,0587 + 0,1924 \text{ RPM}_{700} - 0,0754 \text{ RPM}_{1500} - 0,1170 \text{ RPM}_{2500} + 0,0502 \text{ KM}_{65000} \\
 & - 0,0620 \text{ KM}_{150000} + 0,0119 \text{ KM}_{300000} + 0,1354 \text{ RPM} * \text{KM}_{700} \text{ 65000} - 0,0757 \text{ RPM} * \text{KM}_{700} \\
 & 150000 - 0,0596 \text{ RPM} * \text{KM}_{700} \text{ 300000} - 0,0819 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500} \text{ 65000} + 0,0187 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500} \\
 & 150000 + 0,0631 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500} \text{ 300000} - 0,0535 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500} \text{ 65000} + 0,0570 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500} \\
 & 150000 - 0,0035 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500} \text{ 300000}
 \end{aligned}$$

6.1.4 Resultados del factor CO generados por el diseño experimental

Diagrama de Pareto del Factor CO. En la Figura 48 se muestra de color celeste los factores que influyen en el modelo, en este caso el kilometraje y las revoluciones por minuto.

Figura 48.
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO



Nota: para este gas los factores que son relevantes en el modelo son las rpm y el kilometraje.

Resumen del modelo del factor CO. En la Tabla 12 se observa el resumen del modelo el cual nos da un R-cuadrado de 65,73% y un R-cuadrado(ajustado) de 32,72% lo cual nos indica una baja fiabilidad en el modelo.

Tabla 12.
Resumen de Modelo del factor CO

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,0930850	65,73%	32,72%	0,00%

Nota: los valores indican que el modelo tiene una baja confiabilidad.

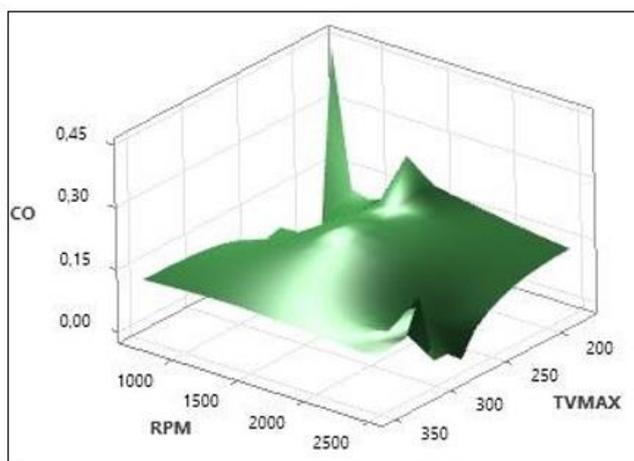
Valor P del modelo del factor CO. En la Tabla 13 se muestra los valores de p los cuales deben ser de 0 o por debajo del 0.05 esto nos indica que valores son útiles para el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de octanaje no es útil para el modelo.

Tabla 13*Valores de "P" del factor CO*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	26	0,448637	0,017255	1,99	0,040
Lineal	6	0,290822	0,048470	5,59	0,001
GA	2	0,006104	0,003052	0,35	0,706
RPM	2	0,168493	0,084246	9,72	0,001
KM	2	0,116226	0,058113	6,71	0,004
Interacciones de 2 términos	12	0,151667	0,012639	1,46	0,201
GA*RPM	4	0,011241	0,002810	0,32	0,859
GA*KM	4	0,056574	0,014144	1,63	0,195
RPM*KM	4	0,083852	0,020963	2,42	0,073
Interacciones de 3 términos	8	0,006148	0,000769	0,09	0,999
GA*RPM*KM	8	0,006148	0,000769	0,09	0,999
Error	27	0,233950	0,008665		
Total	53	0,682587			

Nota: los valores menores a 0.05 son incluidos en el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de octanaje de manera individual no influye en el modelo así mismo como todas las combinaciones de los factores.

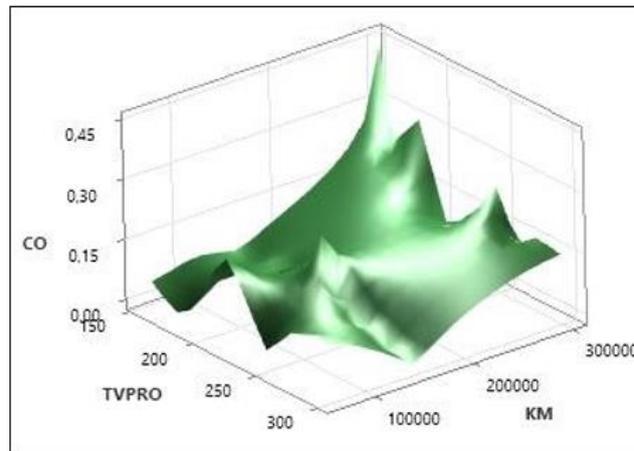
Grafica de superficie del modelo del factor CO. En la Figura 49 se observa la gráfica del modelo del factor CO, la cual señala que existe una mayor emisión de este gas a ralentí y menor temperatura.

Figura 49.*Gráfica de Superficie del Factor CO vs rpm y Temperatura*

Nota: Gráfica obtenida de software Minitab

Así mismo, en la Figura 50 se muestra la gráfica de correlación entre el CO como variable de respuesta y las variables de kilometraje y temperatura en donde se indica que el vehículo con mayor kilometraje tiene una mayor emisión del gas.

Figura 50.
Gráfica de Superficie del Factor CO vs Kilometraje y Temperatura



Nota: Se nota un valor atípico en el vehículo de 65000 km.

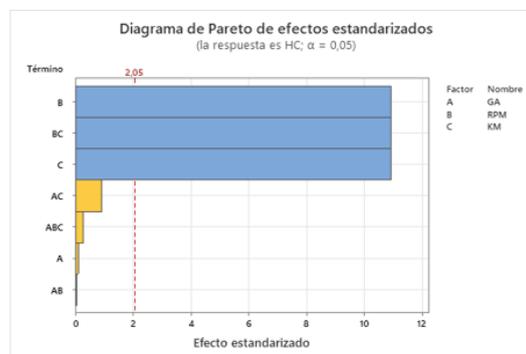
Ecuación de Regresión del factor CO. En la siguiente ecuación de regresión se puede observar de forma algebraica los factores del CO que influyen en el estudio.

$$\begin{aligned}
 = & 0,1176 - 0,0543 \text{ RPM}_{700} + 0,0769 \text{ RPM}_{1500} - 0,0226 \text{ RPM}_{2500} - 0,0198 \text{ KM}_{65000} \\
 & - 0,0443 \text{ KM}_{150000} + 0,0641 \text{ KM}_{300000} - 0,0319 \text{ RPM} * \text{KM}_{700 \ 65000} - 0,0007 \text{ RPM} * \text{KM}_{700 \ 150000} \\
 & + 0,0326 \text{ RPM} * \text{KM}_{700 \ 300000} + 0,0237 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500 \ 65000} + 0,0481 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500 \ 150000} \\
 & - 0,0719 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500 \ 300000} + 0,0081 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500 \ 65000} - 0,0474 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500 \ 150000} \\
 & + 0,0393 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500 \ 300000}
 \end{aligned}$$

6.1.5 Resultados del factor HC generados por el diseño experimental

Diagrama de Pareto del Factor HC. En la Figura 51 se muestra de color celeste los factores que influyen en el modelo, en este caso el kilometraje y las revoluciones por minuto y en color amarillo los factores que no son influyentes en el modelo.

Figura 51.
Diagrama de Pareto de Efectos Estandarizados de HC



Nota: para este gas los factores más influyentes en el modelo son las rpm y el kilometraje.

Resumen del modelo del factor HC. En la tabla 14 se observa el resumen del modelo el cual nos da un R-cuadrado de 96,22% y un R-cuadrado(ajustado) de 92,58% lo cual nos indica una muy alta fiabilidad en el modelo.

Tabla 14.
Resumen de Modelo del factor HC

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
17,6326	96,22%	92,58%	84,88%

Nota: los valores indican que el modelo tiene una muy alta confiabilidad.

Valor P del modelo del factor HC. En la Tabla 15 se muestra los valores de p los cuales deben ser de 0 o por debajo del 0.05 esto nos indica que valores son útiles para el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de octanaje no es útil para el modelo así mismo como las combinaciones a excepción la de rpm*km

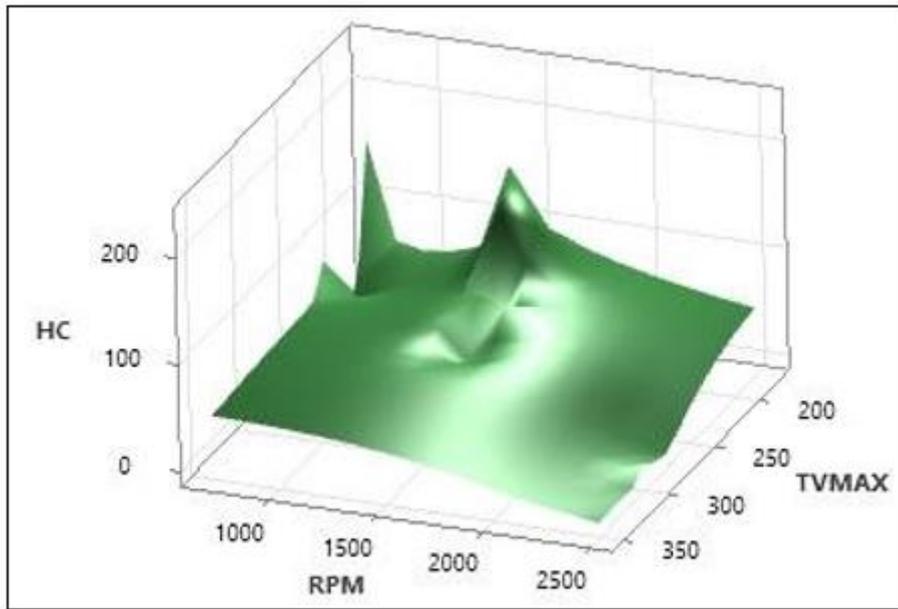
Tabla 15.
Valores de "P" del factor HC

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	26	213751	8221,2	26,44	0,000
Lineal	6	148590	24764,9	79,65	0,000
GA	2	51	25,4	0,08	0,922
RPM	2	52033	26016,7	83,68	0,000
KM	2	96506	48252,8	155,20	0,000
Interacciones de 2 términos	12	63704	5308,7	17,07	0,000
GA*RPM	4	163	40,7	0,13	0,970
GA*KM	4	1404	351,0	1,13	0,364
RPM*KM	4	62137	15534,4	49,96	0,000
Interacciones de 3 términos	8	1457	182,2	0,59	0,781
GA*RPM*KM	8	1457	182,2	0,59	0,781
Error	27	8395	310,9		
Total	53	222146			

Nota: los valores menores a 0.05 son incluidos en el modelo y como se contrasta con el diagrama de Pareto el factor de octanaje de manera individual no influye en el modelo así mismo como las combinaciones de los factores.

Grafica de superficie del modelo del factor HC. En la Figura 52 se observa la gráfica del modelo del factor HC, la cual señala que existe una mayor emisión de este gas a ralentí, 1500rpm y menor temperatura.

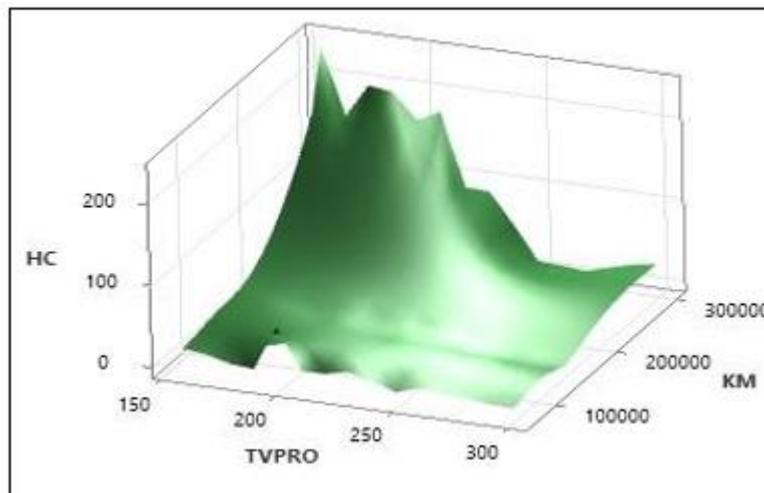
Figura 52.
Gráfica de Superficie del Factor HC vs Rpm y Temperatura



Nota: El factor más influyente es la temperatura para este gas

Así mismo, en la Figura 53 se muestra la gráfica de correlación entre el HC como variable de respuesta y las variables de kilometraje y temperatura en donde se indica que el vehículo con mayor kilometraje tiene una mayor emisión del gas.

Figura 53.
Gráfica de Superficie del Factor HC vs Kilometraje y Temperatura



Nota: El factor kilometraje es el factor más influyente en esta correlación.

Ecuación de Regresión del factor HC. En la siguiente ecuación de regresión se puede observar de forma algebraica los factores del HC que influyen en el estudio.

$$\begin{aligned}
 \text{HC} = & 42,24 + 5,20 \text{ RPM}_{700} + 35,15 \text{ RPM}_{1500} - 40,35 \text{ RPM}_{2500} - 28,35 \text{ KM}_{65000} \\
 & - 31,41 \text{ KM}_{150000} + 59,76 \text{ KM}_{300000} - 0,26 \text{ RPM} * \text{KM}_{700 65000} - 0,54 \text{ RPM} * \text{KM}_{700} \\
 & 150000 \\
 & + 0,80 \text{ RPM} * \text{KM}_{700 300000} - 29,37 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500 65000} - 28,98 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500} \\
 & 150000 \\
 & + 58,35 \text{ RPM} * \text{KM}_{1500 300000} + 29,63 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500 65000} + 29,52 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500} \\
 & 150000 \\
 & - 59,15 \text{ RPM} * \text{KM}_{2500 300000}
 \end{aligned}$$

6.2 Análisis del diseño factorial en IBM SPSS Statistics

Ingresados los datos en el software procedemos a ejecutar los pasos para su desarrollo obteniendo como primer resultado la matriz de correlaciones con los factores de salida que son: CO₂, HC, CO y O₂ que se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.
Matriz de correlaciones

		CO ₂	O ₂	CO	HC
Correlación	CO ₂	1,000	-,095	-,169	,072
	O ₂	-,095	1,000	-,047	,107
	CO	-,169	-,047	1,000	,484
	HC	,072	,107	,484	1,000
Sig. (unilateral)	CO ₂	----	,246	,111	,303
	O ₂	,246	----	,369	,221
	CO	,111	,369	----	,000
	HC	,303	,221	,000	---

Nota: Determinante = ,690

Con la matriz creada si procede a realizar el test de pertinencia KMO para determinar la pertinencia de los factores, Tabla 17.

Tabla 17.
Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,401
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	18,870
	gl	6
	Sig.	,004

Nota: El p valor < nivel de significación, si se cumple

Se establece las comunalidades para los factores obteniendo los datos expresados en la tabla 18.

Tabla 18.
Comunalidades

	Inicial	Extracción
CO2	1,000	,658
O2	1,000	,430
CO	1,000	,749
HC	1,000	,749

Nota. Método de extracción: análisis de componentes principales

Con la varianza total se determina que 3 componentes nos proporcionan un 90% de el total de la misma como se observa en la tabla 19.

Tabla 19.
Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción	
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza
1	1,500	37,509	37,509	1,500	37,509
2	1,085	27,114	64,623	1,085	27,114
3	,984	24,610	89,233		
4	,431	10,767	100,000		

Nota. Método de extracción: análisis de componentes principales.

La matriz de componente, Tabla 20, nos brinda el nivel de significancia a de cada uno de los componentes, a la vez estos datos son complejos de comprender por lo cual se aplica la rotación de varianza tabla 20.

Tabla 20.
Matriz de componente

	Componente	
	1	2
CO2	-,197	,787
O2	,136	-,641
CO	,863	,064
HC	,836	,223

Nota: Método de extracción: análisis de componentes principales. 2 componentes extraídos.

Tabla 21.*Matriz de componente rotado*

	Componente	
	1	2
CO2	-,38	,810
O2	,007	-,655
CO	,859	-,107
HC	,864	,055

Nota: Método de extracción: análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Con los datos obtenidos en la matriz de componente rotado determinamos en el primer factor los valores a considerar son en el CO y HC ya que estos valores cuentan con un valor de significancias mayor a 0.5 estos valores pertenecen al vehículo C(300000km) en la prueba realizada a 700rpm teniendo en consideración que los rpm estas relacionadas directamente con la temperatura por lo que se puede determinar que la mayor emisión de estos gases se da a una menor temperatura del catalizador.

Por otra parte en el 2do componente el valor mas significativo es el del CO2 el cual pertenece al vehículo A(65000km) a 2500 rpm esto concuerda con la relación de oxidación que realiza el catalizador ya que en mejores condiciones de trabajo del catalizador existe una mayor oxidación y reducción del CO el cual es el gas que es tratado y producto de este se obtiene el CO2

7 Discusión

Con el fin de evaluar el estado del catalizador de manera eficaz y exhaustiva, se tomó la decisión de considerar una diversa gama de factores y parámetros que podrían influir en su rendimiento y eficiencia. Si se tienen en cuenta diversas variables, como la calidad del combustible, el kilometraje original de cada vehículo y el régimen de giro del motor.

Para el factor lambda en este proyecto se observa mediante el diagrama de Pareto que todos los factores son relevantes para el modelo esto quiere decir que tanto el octanaje del combustible, el kilometraje del vehículo así como el régimen de trabajo del motor determinan si se trabajó con una mezcla enriquecida o empobrecida además el resumen del modelo nos brinda el porcentaje de fiabilidad para el factor lambda el cual es de R-cuadrado 97,10% y R-cuadrado(ajustado) 94,3% estos valores al estar relativamente cercanos al 100% nos indica que este modelo cuenta con una alta confiabilidad.

Tomando en cuenta los valores obtenidos se establece que el vehículo con mayor afectación es el vehículo que cuenta con 308120km a su vez teniendo en referencia el estudio *“Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas”* en donde se realiza pruebas con un vehículo de 346730km de elabora la tabla 16. Tomado en consideración los regímenes de trabajo de 700rpm y 2500 rpm

Tabla 22.

Comparación de resultados

Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas	Evaluación de Catalizadores en Vehículos de Encendido Provocado: un Enfoque Multimodal utilizando Termografía Infrarroja y Emisiones Contaminantes
700 rpm	700 rpm
244,33 ppm	122,17ppm
4,87 %V	0,16 %V
11,87 %V	0,2
5,33 %V	15,47
2500 rpm	2500 rpm
151,00 ppm	2,5 ppm
0,84%V	0,2%V
3,87%V	0,07%V
11,83%V	15,77%V

8 Conclusiones

Los parámetros que se establecieron para el estudio se los tomo de una serie de factores que influyen en el rendimiento del vehículo así como en su vida útil, estos pueden ser factores de diseño, mantenimiento, estilo de conducción, calidad de combustible, condiciones ambientales y uso del vehículo , partiendo de esto se determinó 3 factores de los cuales 2 pueden ser ajustables como los son el combustible utilizado y las rpm, el tercero que viene preestablecido por el uso que se le ha dado al vehículo.

Una vez establecido esto se determina el tipo de diseño experimental con el cual trabajar, para este proyecto es un modelo factorial general de 3^k , los 3 factores son kilometraje, octanaje y rpm cada uno de estos con 3 niveles que al ser cuantificables pueden ser considerados como bajo, intermedio y alto, en este proyecto para el primer factor los niveles son 65000(vehículo A) ,150000(vehículo B) y 300000(vehículo C), el segundo factor viene dado por los octanajes de las gasolinas que existen en el mercado y el tercer factor se estableció a ralenti que es la prueba que nos indica la norma, el nivel alto se da determinado por lo establecido en el manual de usuario de Hyundai Tucson el cual nos recomienda en su página F6 que mientras se conduce se debe mantener las rpm entre 2000-4000 rpm por lo que se optó un valor referencial de 2500rpm y un tercer nivel intermedio que se lo estableció en 1500rpm.

Así mismo del total de corridas (54) que son el número mínimo requerido para el diseño factorial completo esto en vista que se realizan las pruebas requeridas y una réplica de las misma, se dividen en 18 para cada vehículo a su vez estas se dividen en 6 con cada nivel de rpm y de estas 2 con cada nivel de octanaje, con la ayuda de un trazo de manera vertical en el termograma del catalizador se obtiene 3 temperaturas denominadas como: Temperatura vertical máxima, temperatura vertical mínima y la temperatura promedio de la marca realizada sobre el termograma del catalizador, con este trazo se puede determinar que el punto con mayor temperatura está ubicado lo más cercano a la entrada del catalizador y el punto con menor temperatura lo más cercano a la salida del mismo.

Posterior con el total de pruebas realizadas a cada vehículo (18) se establece que el catalizador del vehículo C tiene un promedio de temperatura vertical máxima de 256.04° , de igual forma la temperatura vertical mínima promedio es de 200.65° y el promedio de la temperatura vertical promedio es de 215.47° , estos valores son el promedio de las 18 pruebas realizadas al vehículo , dentro de estos valores se determina el punto más elevado el cual alcanzo el catalizador durante sus pruebas es de 344°c el cual se da a 2500 rpm conjuntamente con la gasolina de 93 octanos y la temperatura mínima es de 147.5°c la cual se obtiene a 700 rpm y una gasolina de 87 octanos. Además con respecto a los gases se obtuvo que en el vehículo C respecto a los HC el valor más elevado de este gas es de 237ppm y el más bajo es de 0 ppm y un promedio de este gas es de

106.73ppm en las 18 pruebas, estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 156.8°c(87) 700 rpm, 262.6° c (93) 2500 rpm y 215.47°c respectivamente, el CO tiene su punto más elevado 0.44%, el más bajo en 0.06% y promedio de 0.18% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes 156.8°c(87)700rpm,173.8°c(93) 700rpm y 215.47°c respectivamente; el O2 el valor más elevado de este gas es de 0.67% y el más bajo es de 0.01% y un promedio de este gas es de 0.13% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 156.8° c (87) 700 rpm, 182.8°c (93) 1500rpm y 215.47°c respectivamente, finalmente el CO2, con valores de 16.1 y el más bajo es de 15.3 ppm y un promedio de este gas es de 15.63 estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 256.4°c (87) 2500rpm, 156.8°c (87) 700 rpm y 215.47°c respectivamente,

Continuando con el análisis a los datos del vehículo B se establece que el catalizador del presente vehículo tiene un promedio de temperatura vertical máxima de 253.51°, de igual forma la temperatura vertical mínima promedio es de 218° y el promedio de la temperatura vertical promedio es de 228.65°, estos valores son el promedio de las 18 pruebas realizadas al vehículo , dentro de estos valores se determina el punto más elevado el cual alcanzo el catalizador durante sus pruebas es de 342.6°c el cual se da a 2500 rpm conjuntamente con la gasolina de 95 octanos y la temperatura mínima es de 155.2°c la cual se obtiene a 700 rpm y una gasolina de 87 octanos. Así mismo con respecto a los gases se obtuvo que en el vehículo B respecto a los HC el valor más elevado de este gas es de 34 ppm y el más bajo es de 0 ppm y un promedio de este gas es de 10.84 ppm estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 191.5°c (87) 1500 rpm, 291.1°c(95)2500rpm y 228.65°c respectivamente, el CO tiene su punto más elevado 0.24%, el más bajo en 0.0% y promedio de 0.07% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes 229.7°c(95)1500rpm,291.1°c (95) 2500 rpm y 228.65°c respectivamente; para O2 el valor más elevado de este gas es de 0.62% y el más bajo es de 0.03% y un promedio de este gas es de 0.10% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 166.4 °c (87) 700 rpm, 168.6°c (87) 700rpm y 228.65°c respectivamente, finalmente el CO2, con valores de 15.8 y el más bajo es de 15.1 ppm y un promedio de este gas es de 15.55 estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 299.2°c(93)2500rpm, 166.4°c(87)700rpm y 228.65°c respectivamente,

Vehículo A se establece que el catalizador del presente vehículo tiene un promedio de temperatura vertical máxima de 246.77°, de igual forma la temperatura vertical mínima promedio es de 204.3° y el promedio de la temperatura vertical promedio es de 219.87°, estos valores son el promedio de las 18 pruebas realizadas al catalizador del vehículo , dentro de estos valores se determina el punto más elevado el cual alcanzo el catalizador durante sus pruebas es de 351.3°c el cual se da a 2500 rpm conjuntamente con la gasolina de 95 octanos y la temperatura mínima es de 160.6°c la cual se obtiene a 700 rpm y una gasolina de 87 octanos.

Por ultimo respecto a los gases se obtuvo que en el vehículo A respecto a los HC el valor más elevado de este gas es de 83ppm y el más bajo es de 0 ppm y un promedio de este gas es de 15.22ppm estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 196.6°c(93)700rpm, 296° c (95) 2500rpm y 219.87°c respectivamente, el CO tiene su punto más elevado 0.31%, el más bajo en 0.0% y promedio de 0.1% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes 211.8°c (93) 1500 rpm, 193.8°c (95) 700rpm y 219.87°c respectivamente; el O2 el valor más elevado de este gas es de 1.36% y el más bajo es de 0.0% y un promedio de este gas es de 0.20% estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 173.1°c (87) 700rpm, 171.1°c (93) 700 rpm y 219.87° c respectivamente, finalmente el CO2 con valores de 16.6 y el más bajo es de 14.3 ppm y un promedio de este gas es de 15.58 estos valores se obtienen con unas temperaturas y octanajes de 296°c (95) 2500rpm, 178.5°c (87) 700 rpm y 219.87 ° c respectivamente.

Se concluye mediante las pruebas que los catalizadores tienen un aumento de temperatura de 10.83% a 1500rpm vs ralentí, de 28.27% a 2500rpm vs 1500rpm y de 42.15% de 2500 rpm vs ralentí mientras que el combustible tiene una influencia de entre 0.1 y3% en la temperatura. Del total de datos recolectados se establece que el vehículo C proporciona un total del 49.20% de los gases mientras que el vehículo B un 19.43% y el vehículo A un 31.37% considerando las pruebas se realizaron bajo las condiciones más estrictas el factor de kilometraje es el más influyente dentro de los parámetros estudiados y si bien el vehículo B cuenta con menor kilometraje que el vehículo A se determina que en este caso influyen los factores no cuantificados.

Entorno a los análisis realizados en el software de minitab y de IBM SPSS Statistics se determina que el factor mas influyente en el deterioro de catalizador es el kilometraje esto a través de las graficas de dispersión 3D de minitab y con la ayuda de el test KMO de IBM SPSS statistics además que la relación directa entre las rpm y la temperatura nos permite establecer que se obtiene una eficiente resouesta del catalizador cuando el vehículo funciona bajo normas estalecidas de trabajo.

9 Recomendaciones

Si bien se tomó todas las medidas adecuadas para la toma de datos se debe tomar en cuenta que el factor de mantenimientos previos de cada vehículo puede ser influyente, esto en cuanto cada propietario maneja sus propios estándares para preservar la vida útil de su vehículo.

Para la correcta toma de datos de temperatura se recomienda contar con un higrómetro digital ya que se debe tener en cuenta que la temperatura del ambiente, así como la humedad ya que estos parámetros pueden alterar los datos finales, también se debe determinar la temperatura reflejada del catalizador. Además de esto el vehículo debe estar con el aire acondicionado apagado al igual que las luces.

Para establecer el inicio de las pruebas se recomienda calibrar todos los equipos, el analizador de gases con las especificaciones correctas para el vehículo, además de la cámara termográfica igualmente además se aconseja la utilización de equipos con la mayor precisión y confiabilidad posible para la toma de datos como por ejemplo el OBD II link.

10 Bibliografía

- Capelec. (Noviembre de 2020). www.capelec.com.
https://www.capelec.com/sites/default/files/2020-11/CAPELEC_CAP3201EX_G_Analizador_de_gases.pdf
- Catalytic Converters. (2022). www.catalyticconverters.com. www.catalyticconverters.com
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2020). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill.
<https://doi.org/9781456277215>
- Coral, L., & Farinango, P. (2023). *DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE SEÑALES PRODUCIDAS POR SENSOR DE OXÍGENO Y TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Delgadillo, J. (02 de Octubre de 2020). *Mi refacción.com.mx*.
<https://www.mirefaccion.com.mx/blogs/consejos-auto/conoce-sobre-el-sensor-de-oxigeno>
- FAE. (17 de Abril de 2023). *FAE.es*. <https://www.fae.es/reportaje-tecnico-sonda-lambda-fae-evolucion-y-tipos#:~:text=En%20las%20sondas%20de%20Titanio,escape%2C%20sin%20necesitar%20aire%20exterior>.
- Fluke. (2022). www.fluke.com. <https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/multímetros-digitales/fluke-88v>
- Guerrero, E., & Verdezoto, M. (2023). Mantenimiento preventivo en la cámara de transformación y tablero de control mediante termografía: Caso de estudio en la cámara de transformació. <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/article/view/583>
- Hello auto. (2023). helloauto.com. <https://helloauto.com/glosario/octanaje>
- Hernández., E. M. (2020). *CÁMARAS TERMOGRÁFICAS (IR)*. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.

- <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/21422/Camaras%20termograficas%20%28IR%20termico%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kapter. (Julio de 2019). *Kapter.mx*. <https://www.kapter.mx/2019/07/03/que-es-la-emisividad/>
- Kritsanaviparkporn, E., Baena, F., & TR, R. (2021). Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field. *MDPI*, 17. <https://doi.org/10.3390/chemistry3020044>
- Mesurex. (Octubre de 2022). *Mesurex.com*. <https://mesurex.com/7-factores-al-elegir-una-camara-termografica-para-medicion-de-temperatura/>
- Mini tab. (2024). <https://www.minitab.com/es-mx/>. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Morales, M. M. (2020). Aplicación y evaluación de la termografía para biocombustibles sólidos. https://www.researchgate.net/profile/M_Morales-Maximo/publication/376682818_Capitulo_11_Aplicacion_y_evaluacion_de_la_termografia_para_biocombustibles_solidos/links/658373f02468df72d3c0bcea/Capitulo-11-Aplicacion-y-evaluacion-de-la-termografia-para-biocom
- Motor Magazine. (Enero de 2020). *motormagazine.com.ar*. <https://motormagazine.com.ar/wp-content/uploads/2020/01/Ficha-T%C3%A9cnica-Hyundai-Tucson-2020.pdf>
- Orozco, M. (2 de Junio de 2022). *Primicias.ec*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/nueva-gasolina-premium-eco-plus-ecuador/#:~:text=En%20Ecuador%20hay%20dos%20tipos,Eco%20Plus%2C%20de%2089%20octanos.>
- Pardiñas, J. (2018). *Sistemas Auxiliares del motor*. Editex. <https://doi.org/8490032890>
- PICO. (2023). *picoauto.com*. <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/sensores-lambda-pre-y-postcatalizador/>
- Renovfree Gmao. (25 de Enero de 2016). TERMOGRAFIA. You Tube. <https://www.youtube.com/watch?v=-itr7xP8IA8>

sánchez, E. (2021). *Sistemas auxiliares del motor*. Macmillan profesional.

<https://doi.org/8413660424>

Anexo 2.
Características del analizador de gases



Especificaciones y conexiones

CARACTERISTICAS

- Analizador de 4 gases | CO, CO₂, HC, O₂
- Compatible con la norma OIML R99 Clase 0 e ISO3930
- Tiempo de calentamiento inferior a 5mn a 20°
- Extracción automática de la condensación
- Auto cero cada 30mn, prioridad a la medición
- Alimentación 115-230V 1,5A | 47Hz à 63Hz
- CO : 0 a 15% Escalon 0,01%
- CO₂ : 0 a 20% Escalon 0,1%
- HC : 0 a 20 000 ppm Escalon 1 ppm
- O₂: 0 a 25% Escalon 0,01%
- Nox : 0 a 5000 ppm
- Lambda : 0 a 9,999 Escalon 0,01 o 0,001
- Temperatura de aceite | -5 to 150°C
- RPM | 0 to 9 999 RPM

OPCIONES	VERSIONES	CERTIFICACIONES Y PROTOCOLOS
<ul style="list-style-type: none"> • CAP4350 : Interfaz EOBD • CAP8520 : tacometro y termometro de aceite BT • CAP8533 : tacometro vibracion y termometro BT • CAP1220 : Modulo Bluetooth • CAP1320 : termometro inalámbrico • Función 5 gases NOx 	<ul style="list-style-type: none"> • CAP3201EX-GO combinado • CAP3201EX-G analizador de gases • CAP3201EX-O opacimetro 	<ul style="list-style-type: none"> • OIML R 99 • ISO 3930 • BAR97 (microbanca) • Protocolo PC • GIEG Lan • OTC Lan



Pantalla LCD



Base 4 ruedas ajustables y frenadas



Impresora Térmica



CAP4350 Escáner EOBD inalámbrico

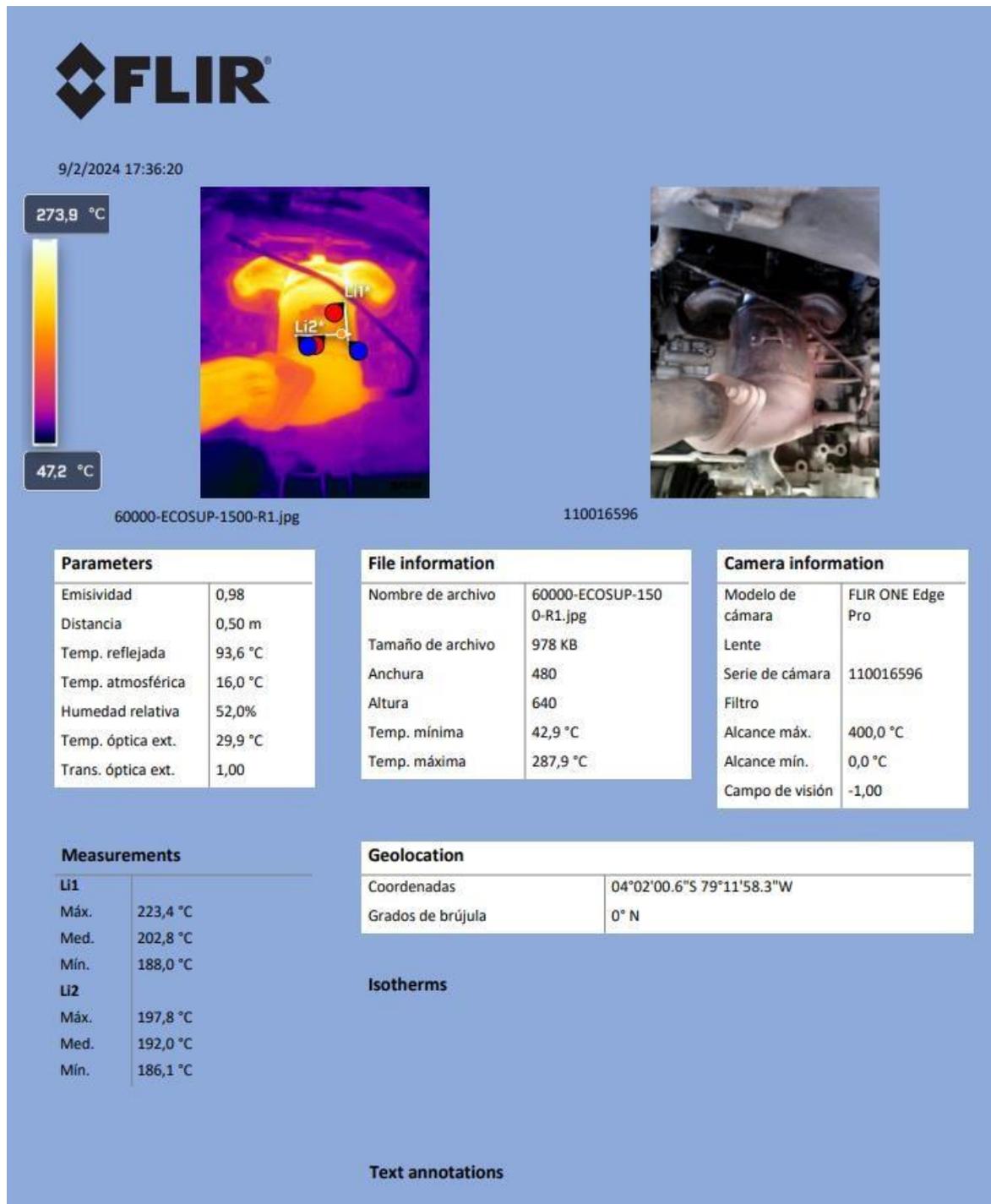


CAP1320 Termometro inalámbrico IR

www.capelec.com

1130 rue des Marels | Parc Eureka | 34000 Montpellier | France | Tel (33)4 67 156 156 | Fax (33)4 67 224 224

Anexo 3.
Informe termográfico



Anexo 4
Total, de corridas

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoSrt	Blqps	GA	RPM	KM	LAMBDA	CO2	O2	CO	HC	TVMAX	TVMIN	TVPRO	THMAX	THMIN	THPRO	RMS	RMS2
1	15	1	1	1	93	1500	80000	0,99	15,6	0,01	0,17	210	211,8	172,8	182,8	180,9	171,1	170,2	0,96595 >>	2,68701
2	8	2	1	1	87	2500	150000	1,00	15,6	0,04	0,00	0	277,5	223,3	235,9	239,1	217,6	233,1	0,93350 >>	2,40416
3	4	3	1	1	87	1500	65000	0,99	15,5	0,05	0,15	24	227,0	184,2	198,7	189,4	181,6	186,5	0,97372 >>	2,75772
4	7	4	1	1	87	2500	65000	1,00	15,6	0,06	0,02	0	294,2	231,0	249,1	246,7	225,2	239,8	0,93911 >>	2,47487
5	40	5	1	1	93	1500	65000	0,99	15,6	0,04	0,11	22	242,8	197,1	211,8	209,7	196,3	201,1	0,97613 >>	2,82843
6	23	6	1	1	95	1500	150000	0,99	15,6	0,07	0,24	13	296,1	219,2	229,7	226,1	214,7	223,4	0,96105 >>	2,89914
7	38	7	1	1	93	700	180000	1,00	15,6	0,04	0,00	25	205,9	190,7	196,0	196,0	188,6	192,9	0,97770 >>	2,61600
8	49	8	1	1	95	1500	65000	0,99	15,4	0,06	0,21	0	240,8	203,1	216,4	211,9	198,5	205,8	0,96452 >>	2,82843
9	36	9	1	1	87	2500	100000	0,99	16,1	0,07	0,40	0	329,0	225,0	236,4	232,7	218,3	229,2	0,95244 >>	2,41952
10	53	10	1	1	95	2500	150000	1,00	15,7	0,07	0,02	0	332,6	277,4	293,1	286,8	270,5	280,7	0,96366 >>	0,65640
11	9	11	1	1	87	2500	80000	0,99	15,4	0,06	0,11	5	342,6	238,2	266,9	247,8	229,9	243,4	0,94433 >>	2,54558
12	18	12	1	1	95	2500	100000	0,99	15,7	0,08	0,22	0	335,2	257,0	262,6	244,1	231,2	241,2	0,95854 >>	2,59272
13	31	13	1	1	87	1500	65000	0,99	15,1	0,04	0,15	7	228,2	197,5	208,8	203,2	192,6	199,0	0,96783 >>	2,89914
14	16	14	1	1	93	2500	65000	0,99	15,7	0,06	0,13	0	309,1	243,4	263,2	255,7	237,0	247,5	0,95603 >>	2,54558
15	42	15	1	1	93	1500	100000	0,99	15,7	0,06	0,09	179	243,9	196,9	206,8	203,7	191,9	201,1	0,96419 >>	2,66144
16	6	16	1	1	87	1500	100000	0,99	15,9	0,20	0,37	196	236,7	171,0	189,9	173,5	168,7	172,5	0,97197 >>	2,56326
17	5	17	1	1	87	1500	150000	0,99	15,4	0,05	0,14	8	266,6	206,5	215,0	212,8	201,9	209,7	0,96280 >>	2,82843
18	29	18	1	1	87	700	150000	1,02	15,1	0,62	0,05	29	178,6	162,1	166,4	163,2	157,8	161,4	0,97769 >>	2,54558
19	27	19	1	1	95	2500	100000	0,99	16,0	0,06	0,25	0	315,2	229,7	251,0	236,8	225,9	233,7	0,96662 >>	2,40416
20	51	20	1	1	95	1500	100000	0,99	15,6	0,29	0,35	234	201,6	166,0	175,1	170,5	163,9	168,1	0,97501 >>	2,61987
21	20	21	1	1	95	700	150000	1,00	15,7	0,05	0,01	11	209,5	192,4	198,5	198,5	190,6	196,6	0,96948 >>	2,68701
22	41	22	1	1	93	1500	150000	0,99	15,4	0,07	0,22	25	257,2	221,9	233,3	228,6	214,7	225,0	0,95422 >>	2,82843
23	46	23	1	1	95	700	65000	1,00	16,1	0,01	0,02	0	208,2	174,3	185,7	181,7	170,5	176,9	0,96382 >>	2,54558
24	54	24	1	1	95	2500	100000	0,99	15,6	0,07	0,12	10	329,8	234,1	259,4	243,4	231,2	240,6	0,96092 >>	2,54558
25	14	25	1	1	93	1500	180000	0,99	15,6	0,05	0,20	7	248,8	222,2	231,1	226,9	218,1	223,9	0,97409 >>	2,82843
26	34	26	1	1	87	2500	65000	1,02	15,3	0,46	0,04	13	300,3	245,5	260,9	257,9	229,1	248,9	0,92044 >>	2,26274
27	24	27	1	1	95	1500	100000	0,99	15,6	0,04	0,07	172	243,7	199,2	208,7	209,2	199,0	207,2	0,96042 >>	2,54558
28	11	28	1	1	93	700	150000	1,01	15,6	0,24	0,00	0	228,1	217,1	221,0	221,6	212,5	218,4	0,97298 >>	2,82843
29	43	29	1	1	93	2500	100000	0,99	15,8	0,08	0,09	0	344,0	235,6	262,1	246,2	229,0	242,6	0,94194 >>	2,56915
30	44	30	1	1	93	2500	150000	1,00	15,7	0,07	0,00	0	311,0	262,4	276,8	266,4	256,5	264,7	0,96902 >>	1,55563
31	52	31	1	1	95	2500	65000	0,99	16,6	0,08	0,12	0	351,3	276,8	296,0	289,5	265,5	281,1	0,94450 >>	2,54558
32	10	32	1	1	87	700	65000	1,00	15,7	0,00	0,02	20	190,2	157,8	171,1	164,0	154,7	160,7	0,96266 >>	2,61600
33	26	33	1	1	95	2500	150000	1,00	15,6	0,07	0,00	0	342,6	272,7	291,1	282,4	272,1	278,3	0,97772 >>	2,54558
34	17	34	1	1	93	2500	150000	1,00	15,8	0,07	0,00	0	328,2	288,9	299,2	291,0	278,5	286,6	0,97173 >>	2,26274
35	13	35	1	1	93	1500	65000	0,99	15,5	0,04	0,18	38	223,4	188,0	202,8	197,8	186,1	192,0	0,96027 >>	2,89914
36	48	36	1	1	93	2500	65000	0,99	15,7	0,06	0,06	5	274,2	210,1	245,6	242,8	224,0	235,9	0,94955 >>	2,61600
37	3	37	1	1	87	700	100000	1,01	15,3	0,67	0,44	237	177,3	147,5	156,8	149,6	147,4	148,7	0,95125 >>	0,95555
38	30	38	1	1	87	700	100000	1,00	15,3	0,04	0,07	89	227,5	215,9	220,4	211,0	223,8	228,3	0,98028 >>	2,54558
39	2	39	1	1	87	700	150000	1,00	15,5	0,02	0,05	23	186,6	153,2	168,6	161,3	152,5	159,1	0,95851 >>	2,82843
40	39	40	1	1	93	700	100000	0,99	15,7	0,01	0,06	102	190,5	167,4	173,8	173,1	166,4	170,8	0,97425 >>	0,98891
41	25	41	1	1	95	2500	65000	0,99	15,8	0,05	0,13	1	327,8	266,9	286,0	281,5	257,2	271,8	0,94628 >>	2,54558
42	48	42	1	1	95	700	100000	1,01	15,5	0,39	0,21	132	184,5	153,1	160,9	155,7	153,2	154,5	0,99158 >>	1,02530
43	19	43	1	1	95	700	65000	1,00	15,7	0,05	0,00	27	210,4	184,9	193,8	191,9	181,5	188,0	0,96542 >>	2,54558
44	1	44	1	1	87	700	65000	1,06	14,6	1,36	0,00	0	191,9	160,6	173,1	166,9	157,2	163,7	0,96029 >>	2,40416
45	33	45	1	1	87	1500	100000	0,99	15,4	0,05	0,07	182	242,1	199,7	208,7	206,6	199,2	204,9	0,97218 >>	2,61600
46	35	46	1	1	87	2500	150000	1,00	15,6	0,06	0,00	0	298,5	241,4	255,9	250,9	236,3	245,6	0,96213 >>	2,26274
47	37	47	1	1	93	700	65000	1,00	15,5	0,06	0,01	85	184,8	161,3	166,6	165,4	156,6	162,3	0,96487 >>	2,68701
48	47	48	1	1	95	700	150000	1,00	15,6	0,06	0,02	5	208,3	181,9	190,7	187,7	180,2	184,3	0,97775 >>	2,68701
49	50	49	1	1	95	1500	150000	0,99	15,5	0,07	0,20	17	250,9	209,9	221,9	213,3	206,3	210,5	0,98004 >>	2,82843
50	28	50	1	1	87	700	65000	1,06	14,3	1,16	0,00	7	195,8	169,4	178,5	177,7	167,1	173,4	0,96366 >>	2,54558
51	32	51	1	1	87	1500	180000	0,99	15,4	0,05	0,19	34	206,1	183,8	191,5	188,0	180,7	184,9	0,97728 >>	2,82843
52	12	52	1	1	93	700	100000	1,00	15,6	0,01	0,07	86	226,7	211,2	216,8	224,8	216,9	222,4	0,97526 >>	2,30988
53	21	53	1	1	95	700	100000	1,00	15,4	0,06	0,11	87	226,5	211,3	217,3	227,8	218,1	224,7	0,97307 >>	2,43130
54	22	54	1	1	95	1500	65000	0,99	15,7	0,06	0,19	27	248,5	205,2	219,6	214,9	203,8	209,9	0,97093 >>	2,82843

Anexo 5.

Certificado de traducción de resumen



Lic. Mónica Guarnizo Torres.
SECRETARIA DE "BRENTWOOD LANGUAGE CENTER"

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "Evaluación de Catalizadores en Vehículos de encendido provocado: un Enfoque Multimodal utilizado Termografía Infrarroja y Emisiones Contaminantes", del estudiante Leodán Alexander Rodríguez Ortíz, con cédula de identidad No. 1105169146, egresada de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 06 de mayo de 2024

Lic. Mónica Guarnizo Torres
SECRETARIA DE B.L.C.

