



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DEL CATALIZADOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET
VITARA 3P 1.6 MODELO 2012 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS DE
GASOLINA ECO PAIS Y ETANOL EN EL MOTOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: SANTIAGO RAMIRO ONTANEDA GONZÁLEZ
JULIO ESTEBAN RODRÍGUEZ MATUTE
TUTOR: ING. CHRISTIAN OMAR PULLA MOROCHO, MSc.

Cuenca - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Santiago Ramiro Ontaneda González con documento de identificación N° 1104344476 y Julio Esteban Rodríguez Matute con documento de identificación N° 0106712359; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de julio del 2024

Atentamente,



Santiago Ramiro Ontaneda González

1104344476



Julio Esteban Rodríguez Matute

0106712359

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Santiago Ramiro Ontaneda González con documento de identificación N° 1104344476 y Julio Esteban Rodríguez Matute con documento de identificación N° 0106712359, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis termográfico del catalizador de un Vehículo Chevrolet Vitara 3p 1.6 modelo 2012 mediante la utilización de mezclas de gasolina eco país y etanol en el motor”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de julio del 2024

Atentamente,



Santiago Ramiro Ontaneda González

1104344476



Julio Esteban Rodríguez Matute

0106712359

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Omar Pulla Morocho con documento de identificación N° 0103570602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DEL CATALIZADOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET VITARA 3P 1.6 MODELO 2012 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS DE GASOLINA ECO PAIS Y ETANOL EN EL MOTOR, realizado por Santiago Ramiro Ontaneda González con documento de identificación N° 1104344476 y por Julio Esteban Rodríguez Matute con documento de identificación N° 0106712359, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Christian Omar Pulla Morocho, MSc.

0103570602

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mis padres, Ramiro y Mónica, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio han sido la piedra angular de mi formación y crecimiento personal. A pesar de que mi padre ya no está físicamente presente, sentí su compañía en cada paso que di y su guía desde el cielo. Gracias a él, descubrí mi pasión por los motores. Mi madre, por su parte, me enseñó a no rendirme en ninguna circunstancia, y su ejemplo de perseverancia ha sido una inspiración constante. Este logro es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

También dedico este trabajo a mi hermano Jonnathan, por brindarme su ayuda en momentos cruciales, y a mis abuelos, Wilson y Martha, quienes han sido un apoyo incondicional y una fuente de sabiduría y consuelo durante este recorrido.

A mi sobrina Aitana, que, a pesar de la distancia, me ha transmitido su cariño, alegría y amor. Su presencia en mi vida ha sido una fuente de motivación y felicidad, ayudándome a culminar este importante proceso.

A toda mi familia, que me apoyó y me dio ánimos, creyendo en mí y en mi capacidad para superar cada desafío. Gracias por su confianza y por estar siempre a mi lado, celebrando cada logro y brindándome su incondicional apoyo.

Y finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que, de alguna manera, me han impulsado a seguir adelante. Su aliento y apoyo han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

Santiago Ramiro Ontaneda González.

DEDICATORIA

Esto va dedicada a mis padres, Margarita y Genaro, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias a ellos, estoy logrando una meta más en mi vida. Su apoyo constante y sus enseñanzas han sido fundamentales para mi crecimiento personal y académico. Esta tesis es una muestra de su legado y de todo lo que me han inculcado.

A mi madre, Margarita, por sus sacrificios y por estar siempre a mi lado, dándome fuerzas en los momentos difíciles y celebrando mis éxitos como si fueran suyos. Su amor y su fe en mí han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante.

A mi padre, Genaro, sus consejos y su sabiduría me han guiado en los momentos de incertidumbre. Su compromiso con nuestra familia y su incansable trabajo han sido una inspiración constante para alcanzar mis metas.

Gracias, mamá y papá, por ser los pilares de mi vida y por todo lo que han hecho para que este logro sea posible. Esta tesis es una prueba de

*todo lo que me han enseñado y del amor que me
han dado.*

Julio Esteban Rodríguez Matute.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Christian Pulla, por su guía, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su experiencia y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi formación académica y personal.

A mi compañero de trabajo, Julio Rodríguez, con quien he compartido innumerables horas de esfuerzo y aprendizaje. Juntos, hemos superado desafíos y aprendido muchas cosas según íbamos desarrollando el trabajo. Su dedicación y compromiso han sido esenciales para culminar este proyecto con éxito.

A una persona muy especial en mi vida, por su amor incondicional y por ser mi mayor fuente de inspiración. Su fe en mí ha sido un motor poderoso que me ha impulsado a seguir adelante

y dar lo mejor de mí en cada etapa de este proceso.

A mis amigos, cuyo constante ánimo y apoyo han sido un pilar importante durante esta travesía. Gracias por estar siempre presentes, tanto en los momentos difíciles como en los de celebración. Su compañía y palabras de aliento han sido una fuente de motivación constante.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de alguna manera, han formado parte de este camino, contribuyendo con su ayuda y conocimiento a la culminación de esta etapa.

Santiago Ramiro Ontaneda González.

AGRADECIMIENTO

A mi hermano Geovanny, quien es un ejemplo para seguir y cuyos consejos siempre han sido invaluable. A pesar de la distancia, su apoyo incondicional y sus palabras de aliento me han ayudado a mantenerme firme y enfocado en mis objetivos.

A mi hermano Jasson, que de igual manera ha sido un pilar en mi vida. Gracias a él, logré sobrellevar cada día con su apoyo emocional y su disposición para escucharme. Su comprensión y su capacidad para levantarme el ánimo han sido importantes.

A mi hermana Emily, quien siempre me acompañaba y me ayudaba con cosas pequeñas, que fueron de gran importancia para mí, y razón de orgullo.

A mi tía Rosario, que es como una segunda madre para mí. Su apoyo, incluso en los detalles más pequeños, ha sido indispensable. Ella siempre ha estado ahí para mí, ofreciéndome su amor y sus sabios consejos.

A mi tío Antonio, quien siempre me ha aconsejado y apoyado en los momentos difíciles. Su

experiencia y su guía han sido una fuente de inspiración y seguridad para mí.

A mi tío Rodrigo, por sus consejos y por el gran cariño que siempre me ha brindado. Gracias a él, mi estancia en la universidad fue mucho más llevadera. Su apoyo y generosidad hicieron una gran diferencia en mi vida durante estos años.

Quiero expresar mi gratitud a mi director de tesis, Ing. Christian Pulla, por su excelente labor como tutor y como amigo. Su orientación y su compromiso con mi formación académica han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

Quiero agradecer también a mis abuelas, mis tíos, y a todos mis primos y amigos. Cada uno de ustedes ha aportado de alguna manera, ya sea con palabras de aliento, consejos o simplemente estando ahí cuando lo necesitaba.

A Ximena Matute, quien estuvo apoyándome y acompañándome durante toda mi carrera. Su presencia constante, su apoyo que, junto a Mayte, me resultó más fácil poder lograr todo esto.

Finalmente, quiero agradecer a una persona muy especial, cuyo apoyo, amor y paciencia han sido

invaluables. Gracias por estar ahí para mí cuando más le necesité, por su comprensión y por ser mi refugio en los momentos de dificultad. Su presencia y apoyo me han dado la fuerza para continuar y superar los desafíos de este camino. Su papel en mi vida durante este proceso ha sido valioso, y se merece un lugar especial en estos agradecimientos.

Julio Esteban Rodríguez Matute.

RESUMEN

El presente estudio se centra en la evaluación de la vida útil del catalizador en un vehículo Chevrolet Vítara 3p 1.6 modelo 2012, mediante técnicas de termografía infrarroja. Para establecer el marco teórico del estudio, se realizó una revisión de la literatura sobre catalizadores automotrices, termografía y métodos de evaluación de desgaste térmico. Este análisis bibliográfico permitió identificar las tecnologías y procedimientos más recientes utilizados para el diagnóstico y mantenimiento de catalizadores, proporcionando las bases conceptuales para el diseño del estudio.

En la etapa experimental, se desarrolló un protocolo de muestreo para llevar a cabo las pruebas termográficas. Este protocolo definió las mezclas de gasolina y etanol a utilizar, así como los procedimientos para la adquisición de datos de temperatura del catalizador durante el funcionamiento del vehículo. La termografía infrarroja se empleó para capturar imágenes térmicas y obtener mediciones precisas de las fluctuaciones de temperatura a lo largo del tiempo, asegurando la consistencia y fiabilidad de los datos recolectados.

Posteriormente, se procedió al análisis estadístico de los datos obtenidos. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para examinar las diferencias en las fluctuaciones de temperatura según las distintas mezclas de combustible. Este análisis permitió identificar patrones térmicos y correlacionar las variaciones con posibles daños del catalizador. Los resultados obtenidos brindan información relevante para el diagnóstico del estado del catalizador y la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo.

Palabras clave: Termografía, catalizador, mezcla gasolina-etanol.

ABSTRACT

The present study focuses on the evaluation of the useful life of the catalyst in a 2012 Chevrolet Vitara 3p 1.6 vehicle, using infrared thermography techniques. To establish the theoretical framework of the study, a review of the literature on automotive catalysts, thermography and thermal wear evaluation methods was carried out. This bibliographic analysis allowed us to identify the most recent technologies and procedures used for the diagnosis and maintenance of catalysts, providing the conceptual bases for the design of the study.

In the experimental stage, a sampling protocol was developed to carry out the thermographic tests. This protocol defined the gasoline and ethanol mixtures to be used, as well as the procedures for acquiring catalyst temperature data during vehicle operation. Infrared thermography was used to capture thermal images and obtain precise measurements of temperature fluctuations over time, ensuring the consistency and reliability of the data collected.

Subsequently, the statistical analysis of the data obtained was carried out. Analysis of variance (ANOVA) was used to examine differences in temperature fluctuations across different fuel blends. This analysis allowed us to identify thermal patterns and correlate the variations with possible damage to the catalyst. The results obtained provide relevant information for diagnosing the condition of the catalyst and implementing preventive maintenance strategies.

Keywords: Thermography, catalyst, gasoline-ethanol mixture.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN . II	
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	IX
AGRADECIMIENTO	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXIV
INTRODUCCIÓN	XXVI
PROBLEMA	XXVII
Antecedentes.....	XXVIII
Importancia y alcances	XXVIII
Delimitación	XXIX
OBJETIVOS	XXIX
Objetivo general.....	XXIX
Objetivos Específicos	XXX
CAPÍTULO I.....	- 1 -
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE	- 1 -

1.1 Análisis termográfico	- 1 -
1.2 Radiación infrarroja	- 2 -
1.3 Ley de Stefan-Boltzmann.....	- 2 -
1.4 Ley de Planck	- 3 -
1.5 Emisividad	- 3 -
1.6 Emisividad en el catalizador:	- 6 -
1.7 Espectro electromagnético	- 6 -
1.8 Analizador de gases	- 8 -
1.9 Catalizador	- 8 -
1.10 Piedra catalítica	- 11 -
1.11 Núcleo del Catalizador	- 11 -
1.12 Materiales Catalíticos	- 11 -
1.13 Orificios internos del convertidor catalítico	- 12 -
1.14 Detalles del Diámetro de los Canales	- 12 -
1.15 Funcionamiento del catalizador	- 12 -
1.16 Temperatura de funcionamiento del catalizador	- 14 -
1.17 Vida útil del catalizador	- 15 -
1.18 Emisiones de gases	- 15 -
1.19 Reacciones químicas.....	- 15 -
1.20 Sistema de Escape	- 16 -
1.21 Normativas para Gases de Escape	- 17 -
1.22 Normativas Europeas (euro 4).....	- 17 -

1.23 Normativa Estadounidense (EPA y CARB)	- 18 -
1.24 Normativas Japonesas (J-LEV, SU-LEV)	- 19 -
1.25 Normativas para la Construcción de Catalizadores	- 19 -
1.26 Normativas Específicas para Catalizadores	- 19 -
1.27 Normativa de Termografía	- 20 -
CAPÍTULO II	- 21 -
METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DE PRUEBAS TERMOGRÁFICAS EN EL CATALIZADOR	- 21 -
2.1 Selección de vehículo de prueba	- 21 -
2.2 Especificaciones técnicas del vehículo seleccionado	- 22 -
2.3 Mantenimiento general del vehículo	- 23 -
2.4 Inspección condición visual del vehículo	- 24 -
2.5 Calibración de bujías	- 25 -
2.6 Prueba de compresión	- 26 -
2.7 Prueba de fugas	- 27 -
2.8 Preparación del vehículo para la adquisición de datos	- 30 -
2.9 Preparación de mezclas de combustible	- 36 -
2.10 Procedimiento para Realizar las Mezclas de Combustible-Etanol	- 37 -
2.11 Preparación del Área de Trabajo	- 38 -
2.12 Medición de los Componentes	- 39 -
2.13 Preparación de la Mezcla	- 40 -
2.14 Información Adicional sobre las Mezclas	- 40 -

2.15 Obtención de temperaturas de funcionamiento del catalizador utilizando las distintas mezclas de combustible.....	- 41 -
2.16 Materiales Necesarios	- 41 -
2.17 Procedimiento de Prueba.....	- 42 -
2.18 Proceso de tres puntos en software de análisis	- 45 -
CAPÍTULO III.....	- 47 -
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS TERMOGRÁFICAS REALIZADAS EN EL CATALIZADOR.....	- 47 -
3.1 Ciclo de prueba	- 47 -
3.2 Software utilizado para el análisis termográfico.....	- 48 -
3.3 Selección de Puntos de Medición	- 49 -
3.4 Condiciones Ambientales de Medición	- 49 -
3.5 Condiciones Ambientales Previas a la Medición.....	- 50 -
3.6 Análisis termográfico E0 (100% Combustible Eco País y 0% Etanol)	- 50 -
3.7 Histograma de temperaturas del catalizador.....	- 52 -
3.8 Perfil de temperaturas en software E0	- 53 -
3.9 Análisis de gases con mezcla E0	- 54 -
3.10 Análisis termográfico E25 (75% Combustible Eco País y 25% Etanol).....	- 55 -
3.11 Histograma de temperaturas de catalizador – E25.....	- 56 -
3.12 Perfil de temperaturas en software E25	- 57 -
3.13 Análisis de gases con mezcla E25	- 58 -
3.14 Análisis termográfico E50 (50% Combustible Eco País y 50% Etanol).....	- 59 -

3.15 Histograma de temperaturas de catalizador – E50	- 61 -
3.16 Perfil de temperaturas en software E50	- 62 -
3.17 Análisis de gases con mezcla E50	- 63 -
3.18 Análisis termográfico E75 (25% Combustible Eco País y 75% Etanol)	- 64 -
3.19 Histograma de temperaturas de catalizador – E75	- 65 -
3.20 Perfil de temperaturas en software E75	- 66 -
3.21 Análisis de gases con mezcla E75	- 67 -
3.22 Análisis termográfico E100 (100% Etanol)	- 68 -
3.23 Histograma de temperaturas de catalizador – E100	- 69 -
3.24 Perfil de temperaturas en software E100	- 71 -
3.25 Análisis de gases con mezcla E100	- 72 -
3.26 Comparación de emisiones en función de las mezclas de etanol	- 73 -
3.27 Hidrocarburos no combustionados – HC	- 73 -
3.28 Monóxido de carbono (CO)	- 75 -
3.29 Dióxido de carbono – CO2	- 76 -
3.30 Oxígeno – O2	- 77 -
3.31 Análisis de varianza (ANOVA)	- 78 -
CONCLUSIONES	- 80 -
RECOMENDACIONES	- 81 -
BIBLIOGRAFÍA	- 82 -
ANEXOS	- 83 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Delimitación geográfica del proyecto técnico	XXIX
Figura 1.2	Radiación infrarroja.....	2
Figura 1.3	Emisividad.....	4
Figura 1.4	Espectro electromagnético	7
Figura 1.5	Cámara Termográfica	8
Figura 1.6	Gases que entran y salen del catalizador	9
Figura 1.7	Catalizador.....	10
Figura 1.8	Funcionamiento del catalizador.....	14
Figura 1.9	Sistema de escape	17
Figura 2.1	Flujograma metodología utilizada para adquisición de datos	21
Figura 2.2	Vehículo seleccionado para el estudio	22
Figura 2.3	Calibración de bujías	26
Figura 2.4	Instrumento de medición de fugas.....	28
Figura 2.5	Tabla para comparación de las lecturas del manómetro – equipo OTC	30
Figura 2.6	Instalación de tanque externo	32
Figura 2.7	Manguera de alimentación de combustible	33
Figura 2.8	Socket de bomba de combustible	34
Figura 2.9	Instalación de acople a filtro de combustible	35
Figura 2.10	Instalación de switch	36
Figura 2.11	Alcohol potable - Etanol	38
Figura 2.12	Probeta de laboratorio de 250ml	39
Figura 2.13	Cámara termográfica modelo Testo 882.....	42
Figura 2.14	Catalizador sin protector	43
Figura 2.15	Pruebas termográficas	44

Figura 2.16	Catalizador real del vehículo.....	46
Figura 3.1	Temperatura de funcionamiento del vehículo	48
Figura 3.2	Imagen térmica del catalizador – E0	51
Figura 3.3	Histograma de temperaturas	52
Figura 3.4	Perfil de temperaturas E0	53
Figura 3.5	Imagen térmica del catalizador - E25.....	55
Figura 3.6	Histograma de temperaturas - E25	56
Figura 3.7	Perfil de temperaturas E25	57
Figura 3.8	Imagen térmica del catalizador - E50.....	59
Figura 3.9	Histograma de temperaturas - E50	61
Figura 3.10	Perfil de temperaturas E50	62
Figura 3.11	Imagen térmica del catalizador - E75	64
Figura 3.12	Histograma de temperaturas – E75	65
Figura 3.13	Perfil de temperaturas E75	66
Figura 3.14	Imagen térmica del catalizador – E100.....	68
Figura 3.15	Histograma de temperaturas - E100.....	70
Figura 3.16	Perfil de temperaturas E100	71
Figura 3.17	Comparación emisiones de HC	74
Figura 3.18	Comparación emisiones de CO	75
Figura 3.19	Comparación emisiones de CO2	76
Figura 3.20	Comparación de emisiones - O2	77
Figura 3.21	Temperaturas referenciales de cada mezcla etanol-combustible.....	78
Figura 3.22	Tabla de resultados ANOVA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Materiales con su respectivo valor de emisividad.....	- 5 -
Tabla 1.2 Reacciones químicas generadas en el catalizador	- 16 -
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas	- 23 -
Tabla 2.2 Inspección visual de componentes del vehículo	- 24 -
Tabla 2.3 Prueba de compresión	- 27 -
Tabla 2.4 Valores registrados de la comprobación de fugas en los cilindros.....	- 30 -
Tabla 2.5 Tabla de emisividad de distintos materiales	- 45 -
Tabla 3.1 Temperatura ambiente exterior.....	- 50 -
Tabla 3.2 Emisiones contaminantes - E0	- 54 -
Tabla 3.3 Emisiones contaminantes - E25	- 58 -
Tabla 3.4 Emisiones contaminantes - E50	- 63 -
Tabla 3.5 Emisiones contaminantes - E75	- 67 -
Tabla 3.6 Emisiones contaminantes - E100	- 72 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Ecuacion de la Ley de Stefan-Boltzmann	- 2 -
Ecuación 2	Ecuacion de la Ley de Planck	- 3 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Vehículo seleccionado para el estudio	- 83 -
Anexo 2 Mantenimiento general del vehículo	- 83 -

INTRODUCCIÓN

El catalizador es un componente crucial en los vehículos modernos, encargado de reducir las emisiones nocivas a través de reacciones químicas que transforman los gases tóxicos en sustancias menos dañinas. Sin embargo, su eficiencia y durabilidad pueden verse afectadas por diversos factores, entre ellos, las fluctuaciones de temperatura generadas por el uso de diferentes tipos de combustible. En este contexto, el análisis de la temperatura del catalizador puede ser un indicador clave para evaluar su vida útil y anticipar problemas de desgaste o mal funcionamiento.

El objetivo de esta investigación es estudiar el comportamiento térmico del catalizador en un Chevrolet Vitara 3p 1.6 modelo 2012, utilizando técnicas de termografía infrarroja para medir las variaciones de temperatura durante el uso de mezclas de gasolina eco país y etanol. La termografía infrarroja es una herramienta valiosa para este tipo de análisis, ya que permite capturar imágenes térmicas y obtener datos precisos de temperatura sin necesidad de contacto físico con el catalizador.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para proporcionar información crítica sobre la durabilidad del catalizador, contribuyendo a mejorar las estrategias de mantenimiento y prolongar la vida útil del componente. A medida que la industria automotriz busca soluciones para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia, comprender los factores que afectan al catalizador se vuelve cada vez más importante.

A través del estudio experimental, se buscará identificar fluctuaciones de temperatura anómalas, obstrucciones u otros factores que puedan comprometer la actividad catalítica del dispositivo. Estas áreas problemáticas serán analizadas en detalle para determinar las causas subyacentes y desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo específicas. Con base en los resultados obtenidos, se desarrollarán recomendaciones concretas para optimizar el

rendimiento del catalizador y prolongar su vida útil. Esto incluirá pautas para la selección de mezclas de combustible.

PROBLEMA

La falta de datos precisos sobre la temperatura del catalizador en evaluaciones termográficas, especialmente cuando se usan mezclas de combustible con etanol, crea una brecha crítica en nuestra comprensión del desempeño del catalizador en vehículos modernos. Dado el aumento en el uso de combustibles alternativos como el etanol para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles, es crucial entender cómo estas mezclas afectan tanto la eficiencia como la longevidad del catalizador. El catalizador es un componente esencial en la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, la introducción de combustibles alternativos, como mezclas con etanol, puede influir en la temperatura y el comportamiento del catalizador. (Alfredo Osornio-Ríos et al., 2019)

Varios factores afectan la temperatura del catalizador, especialmente cuando se usa etanol como la Composición del Combustible: El etanol tiene un contenido energético diferente y quema a temperaturas distintas en comparación con la gasolina convencional. Esto puede cambiar las condiciones térmicas del escape y, por ende, la temperatura del catalizador. Dado que la temperatura es un factor crítico para el funcionamiento óptimo y la durabilidad del catalizador, la falta de estudios precisos en esta área es preocupante. El análisis termográfico puede ofrecer información valiosa sobre las condiciones operativas del catalizador y ayudar a predecir problemas como sobrecalentamiento, daños o desgaste prematuro. Sin estos estudios, es difícil determinar cómo las mezclas con etanol afectan a largo plazo la vida útil del catalizador.

Antecedentes

El catalizador automotriz es un componente esencial para el control de emisiones, convirtiendo gases tóxicos como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en sustancias menos dañinas para el medio ambiente. Con el aumento de la conciencia ambiental y las regulaciones más estrictas, la eficacia y durabilidad de los catalizadores se ha vuelto fundamental para la industria automotriz.

El uso de mezclas de gasolina Ecopaís y etanol en los vehículos puede generar fluctuaciones térmicas en el catalizador, que a largo plazo podrían afectar su vida útil. Estudios previos han demostrado que el desgaste térmico es una de las principales causas de fallo en los catalizadores, y los cambios en la composición del combustible pueden influir en su rendimiento. El análisis termográfico se presenta como una técnica efectiva para medir estas fluctuaciones de temperatura y obtener datos precisos para evaluar el estado del catalizador.

Importancia y alcances

Este estudio es importante porque el desgaste prematuro del catalizador no solo implica costos adicionales para los propietarios de vehículos, sino que también puede tener un impacto ambiental negativo debido a un rendimiento deficiente en el control de emisiones. Al investigar cómo las mezclas de gasolina Ecopaís y etanol afectan el comportamiento térmico del catalizador, este estudio puede proporcionar información valiosa para mejorar las estrategias de mantenimiento preventivo y extender la vida útil del componente.

El objetivo es evaluar posibles problemas de funcionamiento del catalizador que afecten a la vida útil del mismo, lo que permitirá desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo y diagnóstico para el sistema de escape del vehículo. Además, esta investigación contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la promoción de energías limpias y

sostenibles, así como al fomento de la innovación tecnológica en la industria automotriz. (ONU, 2023)

Delimitación

El presente estudio se llevó a cabo en el taller automotriz de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. La ubicación del taller es: Calle Vieja 12-13, en Cuenca, Azuay-Ecuador.

Figura 1.1

Delimitación geográfica del proyecto técnico



Nota: Taller de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Fuente: Autores

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar un análisis termográfico del catalizador de un Vehículo Chevrolet Vitara 3p 1.6 modelo 2012 mediante la utilización de mezclas de gasolina Eco país y etanol en el motor para la identificación de fluctuaciones de temperatura en el mismo.

Objetivos Específicos

- Revisar el marco teórico referencial a cerca del catalizador, mediante la revisión bibliográfica, para el conocimiento de los avances, métodos, tecnologías y hallazgos más recientes en este campo de investigación.
- Establecer un protocolo de muestreo para el desarrollo de pruebas termográficas en el catalizador del vehículo Chevrolet Vitara, mediante la aplicación de mezclas de gasolina/etanol para el análisis de las temperaturas alcanzadas durante su proceso de combustión.
- Analizar los resultados obtenidos de las pruebas termográficas mediante el uso de herramientas estadísticas como un análisis de varianza (ANOVA), para la evaluación de su comportamiento

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Análisis termográfico

Un análisis termográfico se considera a una tecnología avanzada que nos permite medir temperaturas sin necesidad de contacto físico, utilizando longitudes de onda infrarrojas. Las cámaras termográficas generan imágenes que representan diferentes temperaturas mediante una variedad de diferentes colores, lo que facilita la identificación rápida de puntos calientes o áreas con temperaturas elevadas. Estos puntos pueden indicar posibles fallos inminentes en equipos o sistemas. (Palacios, 2014)

El análisis termográfico, también conocido como termografía infrarroja, es un método utilizado para detectar y visualizar la radiación infrarroja emitida por los objetos.

Los principios clave de esta técnica son los siguientes:

- Radiación infrarroja
- Ley de Planck
- Emisividad
- Transferencia de calor

Las imágenes termográficas se interpretan mediante la observación de patrones de temperatura y la identificación de áreas anómalas, como puntos calientes o fríos, que pueden indicar problemas en el objeto o la superficie bajo análisis.

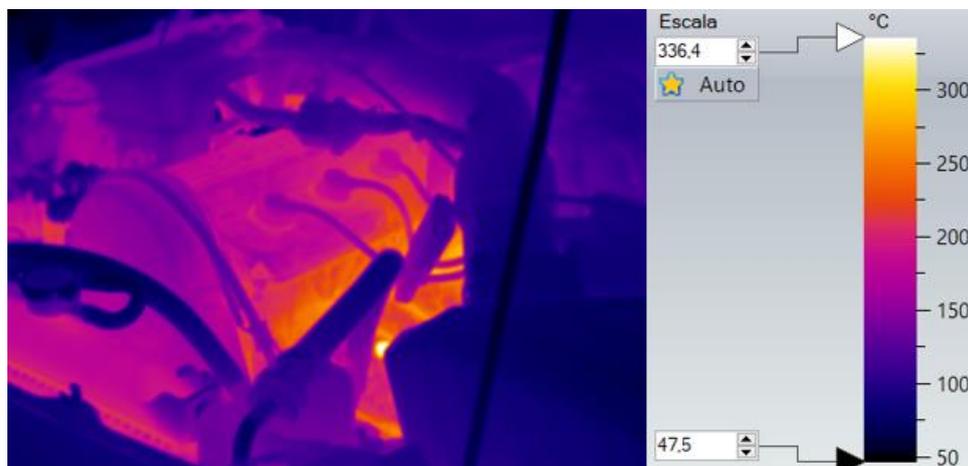
El análisis termográfico es una herramienta poderosa para la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas en una variedad de campos, desde la industria hasta la medicina y la seguridad.

1.2 Radiación infrarroja

La radiación infrarroja emitida por un objeto depende de la temperatura, y la cantidad de esta radiación se incrementa a medida que la temperatura del objeto aumenta, de acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann.

Figura 1.2

Radiación infrarroja



Nota: Ejemplo de radiación infrarroja tomada en el infrarrojo de longitud de onda larga.

1.3 Ley de Stefan-Boltzmann

La Ley de Stefan-Boltzmann es una ley fundamental de la física que describe la potencia radiada por un cuerpo negro en función de la temperatura de este. Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la radiación electromagnética que incide sobre él y reemite energía térmica sin reflexión ni transmisión.

Ecuación 1

Ecuación de la Ley de Stefan-Boltzmann

$$P = \sigma T^4 \quad (1)$$

1.4 Ley de Planck

La Ley de Planck describe la distribución espectral de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura dada. Esta ley es fundamental en la física y proporciona una base para comprender cómo los objetos emiten radiación térmica en función de su temperatura.

Ecuación 2

Ecuación de la Ley de Planck

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}}} \quad (2)$$

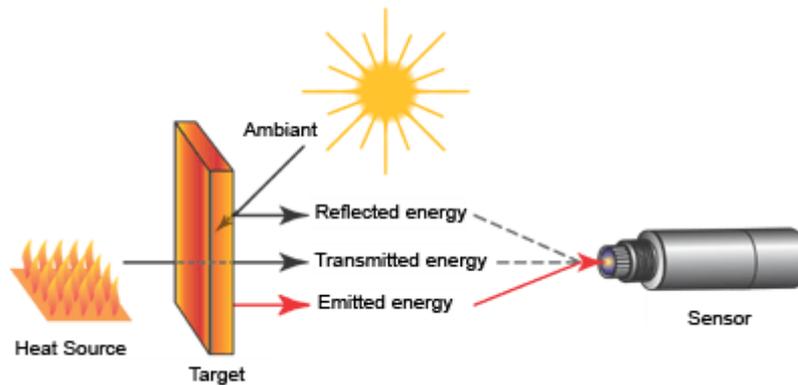
1.5 Emisividad

La emisividad mide la capacidad de un objeto para emitir energía en el espectro infrarrojo. Se calcula como la proporción de radiación térmica que una superficie u objeto emite debido a una diferencia de temperatura con su entorno. (Ponton, 1990)

La energía emitida refleja la temperatura del objeto. La emisividad varía entre 0 (como en un espejo brillante) y 1.0 (como en un cuerpo negro), pero la mayoría de las superficies orgánicas tienen valores de emisividad que se aproximan a 0.95.

Figura 1.3

Emisividad



Nota: Diagrama representativo de la emisividad.

La medida de emisividad depende tanto de las propiedades del material como de su acabado superficial y también puede variar según la temperatura en algunos casos. Por ejemplo, los materiales no metálicos como plásticos o sustancias naturales tienden a tener altos grados de emisividad al igual que los materiales utilizados en construcción.

Los materiales de desarrollo tienen niveles de emisividad elevados ($\epsilon \approx 0,8$ a $0,95$) y no se ven afectados por la variedad de calor. Además, estos materiales no se ven afectados por las variaciones de temperatura, a diferencia de los metales. Los metales, en particular, tienen una emisividad muy baja que cambia con la temperatura y depende del acabado superficial, especialmente si es brillante.

A continuación, se presenta una tabla representativa a cerca de distintos materiales con su respectivo valor de emisividad y temperatura referencial de trabajo:

Tabla 1.1*Materiales con su respectivo valor de emisividad*

Material (temperatura del material)	Emisividad
Acero laminado en frío (93 °C)	0,75–0,85
Acero oxidado (200 °C)	0,79
Acero superficie tratada térmicamente (200 °C)	0,52
Algodón (20 °C)	0,77
Aluminio laminado sin tratamiento (170 °C)	0,04
Aluminio muy pulido (100 °C)	0,09
Aluminio, muy oxidado (93 °C)	0,2
Aluminio, no oxidado (100 °C)	0,03
Alumínio, no oxidado (25 °C)	0,02
Arcilla (70 °C)	0,91
Caucho, blando, gris (23 °C)	0,89
Cinc oxidado	0,1
Cobre ligeramente deslustrado (20 °C)	0,04
Cobre oxidado (130 °C)	0,76
Cobre, laminado (40 °C)	0,64
Cobre, pulido (40 °C)	0,03
Corcho (20 °C)	0,7
Cristal (90 °C)	0,94
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo pulido (150 °C)	0,06
Cuerpo refrigerante anodizado negro (50 °C)	0,9

Nota: *En la presente tabla se presentan los valores de emisividad para distintos materiales.*

1.6 Emisividad en el catalizador:

La emisividad es la medición de la capacidad de un objeto de emitir energía infrarroja, la emisividad es una propiedad adimensional, lo que significa que no tiene unidades.

Se mide en una escala que va de 0 a 1, donde:

- 0 significa que el material no emite radiación térmica (perfectamente reflectante).
- 1 significa que el material emite radiación térmica de manera perfecta (cuerpo negro ideal).

Para medir la temperatura del catalizador con una cámara termográfica, fue crucial tener una buena estimación de la emisividad del material que estás observando.

1.7 Espectro electromagnético

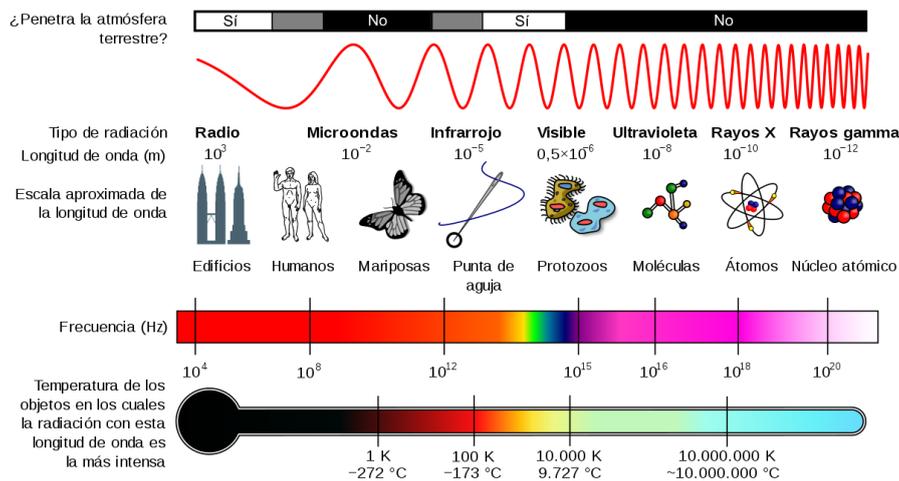
El espectro electromagnético es la gama completa de todas las frecuencias de radiación electromagnética, que incluye desde las ondas de radio de baja frecuencia hasta los rayos gamma de alta frecuencia. Esta radiación electromagnética se propaga en forma de ondas y tiene diferentes longitudes de onda y frecuencias.

El espectro electromagnético es fundamental en una amplia variedad de aplicaciones en la ciencia, la tecnología y la vida cotidiana. Desde las comunicaciones inalámbricas hasta la medicina, la astronomía y la industria, el conocimiento y la comprensión de este espectro son cruciales para el desarrollo de tecnologías avanzadas y el avance del conocimiento humano. (Espinoza, 2006)

A continuación, se presenta una figura representativa del espectro electromagnético que representa una gama amplia de energía radiante y distintos tipos de ondas electromagnéticas.

Figura 1.4

Espectro electromagnético



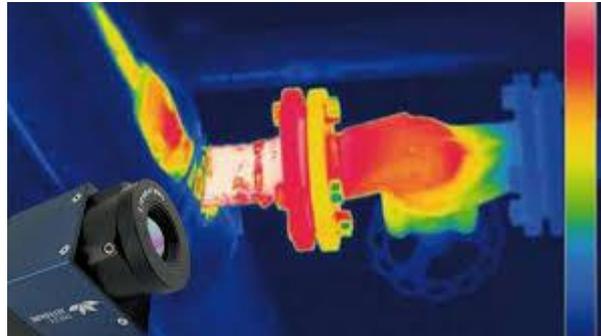
Nota: *Esquema del espectro electromagnético.*

Una cámara termográfica es un instrumento que detecta y cuantifica la radiación infrarroja emitida por objetos, transformándola en una representación visual de las variaciones de temperatura. Compuesta por una lente óptica, un sensor infrarrojo y un procesador, estas cámaras son altamente sensibles, capaces de discernir diferencias de temperatura muy pequeñas, lo que las hace útiles en la inspección de equipos eléctricos, la detección de fugas en sistemas de aislamiento térmico y el diagnóstico médico. (Brinklow et al., 2023)

Las cámaras termográficas pueden variar en tamaño y complejidad, desde modelos portátiles hasta sistemas avanzados con capacidad de alta resolución y análisis de datos integrados. Su capacidad para capturar imágenes térmicas en tiempo real y grabar video térmico las convierte en herramientas valiosas para la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas en diversas aplicaciones. (Osornio, 2019)

Figura 1.5

Cámara Termográfica



Nota: Cámara termográfica usada en análisis del sistema de escape.

1.8 Analizador de gases

Los analizadores de gases son instrumentos esenciales para examinar y determinar la composición de los gases presentes en una muestra. Emplean diversos métodos de detección, como la espectroscopía, cromatografía, electroquímica o sensores químicos, cada uno con sus ventajas y limitaciones respectivas.

1.9 Catalizador

Los catalizadores de escape son elementos fundamentales en los sistemas de escape de los vehículos con motor de combustión interna, introducidos como respuesta a regulaciones ambientales como el Plan de Aire Limpio de los Estados Unidos, que requería la disminución notable de emisiones contaminantes a partir de 1975. Consisten en cilindros de acero inoxidable que albergan materiales catalíticos en su interior. (Cuadrado et al., 2016)

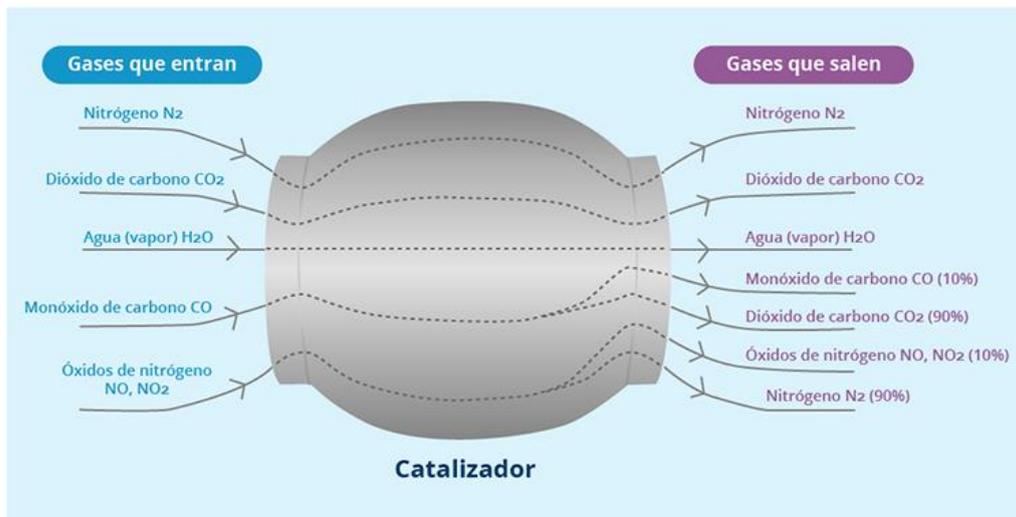
Su principal función radica en la reducción y control de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna.

Operan como catalizadores al acelerar reacciones químicas que transforman los gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC) y

los óxidos de nitrógeno (NOx), en compuestos menos perjudiciales, como el dióxido de carbono (CO₂), el agua (H₂O) y el nitrógeno (N₂). (Brinklow et al., 2023)

Figura 1.6

Gases que entran y salen del catalizador



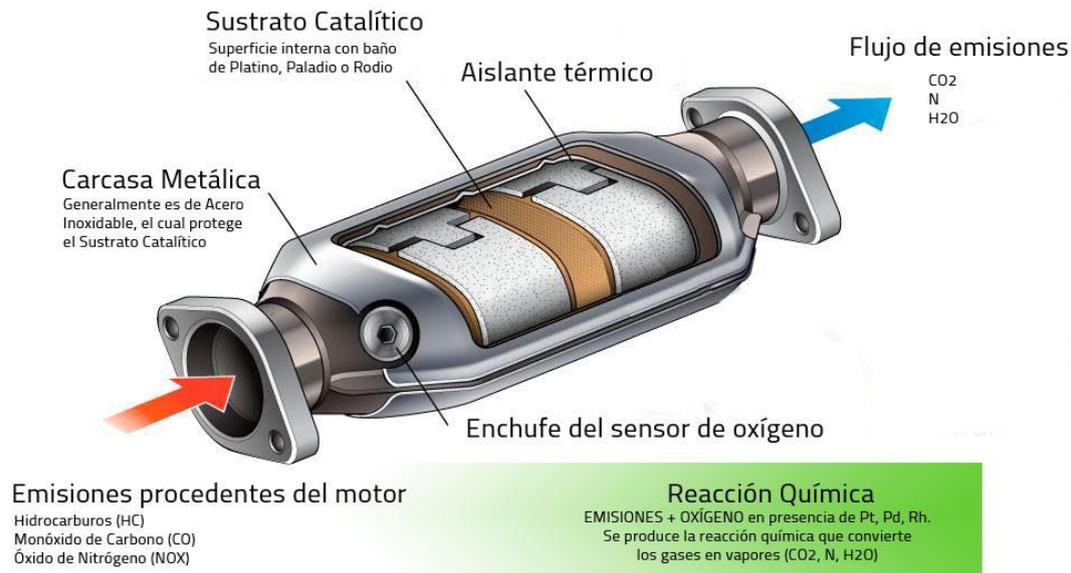
Nota: *Gases que entran al convertidor catalítico y luego salen del mismo.*

De este modo, los catalizadores de escape desempeñan una función esencial en la reducción de la contaminación atmosférica originada por los vehículos. Son un componente estándar en la industria automotriz actual y contribuyen de manera significativa a la mejora de la calidad del aire y la salud pública al disminuir las emisiones de gases tóxicos.

Sus principios de funcionamiento se basan en reacciones químicas de oxidación y reducción, que se llevan a cabo en presencia de metales preciosos como platino, paladio y rodio.

Figura 1.7

Catalizador



Nota: *Esquema del catalizador de escape con sus componentes*

- **Caja inoxidable:** La caja inoxidable es la carcasa externa del catalizador, fabricada en acero inoxidable. Esta carcasa proporciona durabilidad y resistencia a la corrosión, protegiendo los componentes internos del catalizador y asegurando una larga vida útil del dispositivo en condiciones de alta temperatura y ambientes agresivos.
- **Estructura de cerámica:** La estructura de cerámica es el soporte interno del catalizador. Está formada por una red de canales o celdas que maximiza la superficie de contacto con los gases de escape. Este material cerámico es resistente a altas temperaturas y proporciona una estructura estable sobre la cual se deposita el revestimiento catalítico activo.
- **Pantalla térmica:** La pantalla térmica es una barrera diseñada para reducir la transferencia de calor desde el catalizador al entorno inmediato. Esta protección ayuda

a mantener una temperatura óptima de funcionamiento del catalizador y protege otros componentes del vehículo de daños por calor excesivo.

- **Protección elástica:** La protección elástica generalmente se refiere a un material flexible y resistente al calor que rodea y sostiene la estructura cerámica dentro de la caja inoxidable. Esta protección absorbe vibraciones y movimientos, evitando daños a la estructura cerámica debido a golpes, expansiones térmicas y contracciones, asegurando la integridad del catalizador durante su funcionamiento.

1.10 Piedra catalítica

Es un término coloquial para el núcleo del catalizador en un vehículo, crucial para disminuir las emisiones de gases contaminantes.

1.11 Núcleo del Catalizador

- **Material:** El núcleo, conocido como "monolito", generalmente está hecho de cerámica o metal, con una estructura de panal llena de pequeños canales por los cuales pasan los gases de escape.
- **Recubrimiento:** Estos canales están recubiertos con óxidos de aluminio y otros metales que aumentan la superficie disponible para las reacciones químicas. Encima de este recubrimiento se aplica una fina capa de metales preciosos como platino, paladio y rodio.

1.12 Materiales Catalíticos

- **Platino (Pt):** Facilita las reacciones de oxidación, convirtiendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no quemados (HC) en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

- Paladio (Pd): También ayuda en las reacciones de oxidación y a menudo se usa junto con el platino.
- Rodio (Rh): Es fundamental para las reacciones de reducción, que transforman los óxidos de nitrógeno (NO_x) en nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂).

1.13 Orificios internos del convertidor catalítico

El convertidor catalítico de un vehículo tiene una estructura interna en forma de panel, compuesta por numerosos canales o celdas por donde pasan los gases de escape. El diámetro de estos canales es crucial para la eficiencia del catalizador.

1.14 Detalles del Diámetro de los Canales

- Tamaño de los Canales: Los canales dentro del núcleo del convertidor catalítico típicamente tienen un diámetro que varía entre 1 y 4 milímetros. Estos pequeños diámetros están diseñados para maximizar el área de superficie disponible para las reacciones químicas.
- Densidad de Celdas: La densidad de celdas del convertidor catalítico se mide en celdas por pulgada cuadrada (CPSI). Las densidades comunes son de 200 CPSI, 400 CPSI y, en algunos casos, incluso 600 CPSI. A mayor densidad de celdas, menor es el diámetro de cada canal individual.

1.15 Funcionamiento del catalizador

El catalizador en un vehículo funciona al transformar gases de escape nocivos en compuestos menos dañinos mediante reacciones químicas facilitadas por un recubrimiento de metales nobles como platino, paladio y rodio en una estructura cerámica.

Los gases de escape pasan a través de esta estructura, donde los óxidos de nitrógeno (NOx) se reducen a nitrógeno y oxígeno, y los hidrocarburos no quemados (HC) y el monóxido de carbono (CO) se oxidan a dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

A continuación, se explica el funcionamiento del catalizador:

1. **Entrada de Gases de Escape:**

- Los gases de escape, que contienen contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx), salen del motor y entran al catalizador.

2. **Estructura Interna:**

- Dentro del catalizador hay una estructura de cerámica con muchos canales pequeños (como una colmena) que permiten el paso de los gases. Esta estructura está recubierta con metales preciosos: platino, paladio y rodio, que actúan como catalizadores.

3. **Reacciones Químicas:**

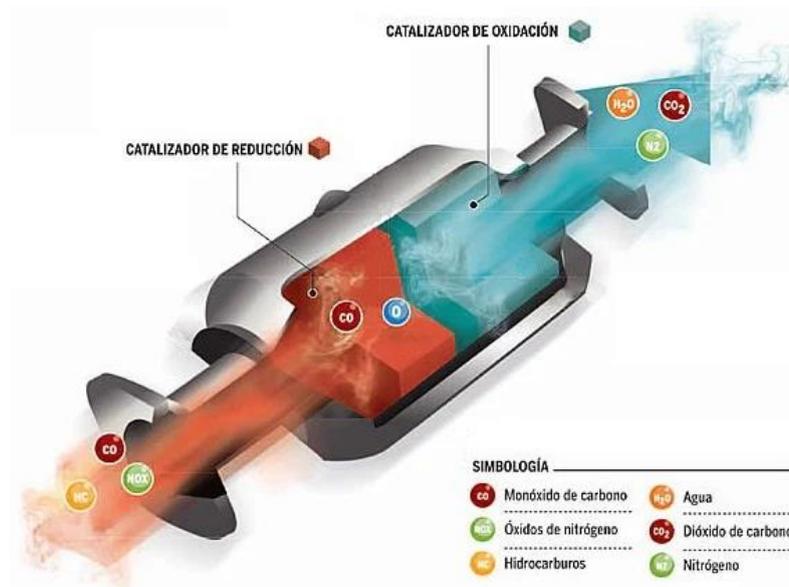
- **Reducción de NOx:** Cuando los gases pasan por la estructura recubierta con rodio, los óxidos de nitrógeno (NOx) se descomponen en nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂).
- **Oxidación de CO y HC:** A medida que los gases continúan su recorrido, entran en contacto con el platino y el paladio. Aquí, el monóxido de carbono (CO) se convierte en dióxido de carbono (CO₂) y los hidrocarburos no quemados (HC) se convierten en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

4. **Salida de Gases Limpios:**

- Los gases transformados, que ahora son principalmente dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) y agua (H_2O), salen del catalizador y son expulsados por el tubo de escape del vehículo.

Figura 1.8

Funcionamiento del catalizador



Nota: Ejemplo de reducción y oxidación en el funcionamiento del catalizador.

1.16 Temperatura de funcionamiento del catalizador

La temperatura de operación se refiere al rango de temperaturas en el cual el catalizador funciona de manera óptima. Para que el catalizador funcione eficazmente, debe alcanzar una temperatura de operación adecuada, la cual generalmente oscila entre 300 y 400 grados Celsius. Esta temperatura se alcanza rápidamente debido al calor producido por los gases de escape. (Cuadrado et al., 2016.)

1.17 Vida útil del catalizador

El nivel promedio de vida por recomendación del fabricante del catalizador es de 80,000 km o alrededor de 5 a 10 años, dependiendo del estilo de conducción, la calidad del combustible y otros factores.

1.18 Emisiones de gases

La emisión de gases contaminantes, originada principalmente por la quema de combustibles fósiles como carbón y petróleo, constituye una fuente relevante de contaminación atmosférica a nivel global. Además del dióxido de carbono (CO₂), otros gases comunes incluyen el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y las partículas finas (PM). (Velepucha, 2021)

El CO₂ destaca por su contribución al efecto invernadero y al calentamiento global, siendo generado principalmente por centrales eléctricas, vehículos de motor e instalaciones industriales que queman combustibles fósiles. El SO₂ se emite principalmente en la quema de carbón y petróleo, y en procesos industriales como la fundición de metales. Los NO_x se forman en la combustión a alta temperatura, como en motores de automóviles y calderas industriales. Los COVs provienen tanto de fuentes naturales como humanas, incluyendo la combustión de combustibles fósiles y la evaporación de productos químicos. Las PM son emitidas por diversas fuentes, como vehículos, industrias y procesos de combustión. (Oceana, 2020)

1.19 Reacciones químicas

Dentro del catalizador, se llevan a cabo procesos químicos esenciales para limpiar los gases de escape, principalmente mediante reacciones de oxidación y reducción. Estos procesos implican la transferencia de electrones entre los compuestos químicos presentes en los gases

de escape y los metales catalíticos del catalizador, como platino, paladio y rodio. (Cuadrado, 2016)

En la siguiente tabla se especifican los gases que entran al catalizador, las reacciones químicas que se generan en el mismo y finalmente lo que se emite al medio ambiente.

Tabla 1.2

Reacciones químicas generadas en el catalizador

Contaminante	Reacción química	Producto
(CO)	$2CO+O_2 \rightarrow 2CO_2$	Dióxido de carbono (CO ₂)
(HC)	$C_xH_y+(x+4y)O_2 \rightarrow xCO_2+2yH_2O$	Dióxido de carbono (CO ₂) y agua (H ₂ O)
(NO _x)	$2NO+2CO \rightarrow N_2+2CO_2$	Nitrógeno (N ₂) y dióxido de carbono (CO ₂)

Nota: *Reacciones químicas generadas en el catalizador. Fuente: (Pigna, 2018)*

1.20 Sistema de Escape

El sistema de escape de un automóvil a gasolina se compone de diversos elementos diseñados para manejar y eliminar los gases de escape generados durante la combustión del motor de gasolina. Incluye componentes como el colector de escape, los conductos de escape, el catalizador, el silenciador o resonador, y los sensores de oxígeno.

El colector de escape recoge los gases de escape del motor y los canaliza hacia el resto del sistema. Los conductos de escape transportan estos gases desde el motor hasta la parte trasera del vehículo. Durante este recorrido, los gases atraviesan el catalizador, que reduce las emisiones dañinas al convertir los contaminantes en compuestos menos nocivos.

El silenciador o resonador tiene la función de reducir el ruido generado por los gases de escape. Estos componentes están diseñados con cámaras y deflectores para amortiguar el

ruido emitido por el tubo de escape. Los sensores de oxígeno monitorean el contenido de oxígeno en los gases de escape, lo que ayuda al control del motor para mejorar su rendimiento y eficiencia en el consumo de combustible. En conjunto, estos componentes aseguran el funcionamiento eficiente y seguro del vehículo, al mismo tiempo que reducen las emisiones contaminantes al medio ambiente.

Figura 1.9

Sistema de escape



Nota: Sistema de escape de un vehículo con sus componentes

1.21 Normativas para Gases de Escape

Las normativas para los gases de escape establecen límites máximos permitidos de emisiones de contaminantes de los vehículos. Estas normativas varían según la región y se actualizan regularmente para reducir la contaminación del aire. Algunas de las normativas más importantes incluyen:

1.22 Normativas Europeas (euro 4)

La normativa euro 4 es uno de los estándares de emisiones de la Unión Europea diseñados para limitar la cantidad de contaminantes que los vehículos pueden emitir. Implementada en enero de 2005 para vehículos nuevos y en octubre de 2006 para todos los

vehículos vendidos, esta normativa fue un paso importante hacia la reducción de la contaminación del aire.

La normativa Euro 4 establece límites específicos para varios contaminantes importantes provenientes de vehículos ligeros, tanto de gasolina como diésel. A continuación, se detallan los límites para cada tipo de contaminante:

1. Monóxido de Carbono (CO):

Gasolina: 1.0 g/km

Diésel: 0.50 g/km

2. Hidrocarburos Totales (HC):

Gasolina: 0.10 g/km

Diésel: No aplicable (se considera junto con NOx)

3. Óxidos de Nitrógeno (NOx):

Gasolina: 0.08 g/km

Diésel: 0.25 g/km

4. Hidrocarburos Totales + Óxidos de Nitrógeno (HC + NOx):

Diésel: 0.30 g/km

5. Partículas (PM):

Diésel: 0.025 g/km

1.23 Normativa Estadounidense (EPA y CARB)

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece estándares federales, mientras que el California Air Resources Board (CARB) impone regulaciones aún más estrictas en California.

Estas normativas incluyen límites para CO, NOx, HC y partículas, además de requerir sistemas de diagnóstico a bordo (OBD) para monitorear las emisiones.

1.24 Normativas Japonesas (J-LEV, SU-LEV)

Japón tiene sus propios estándares para emisiones vehiculares, como el J-LEV (Low Emission Vehicle) y el SU-LEV (Super Ultra Low Emission Vehicle), que establecen límites estrictos para varios contaminantes.

1.25 Normativas para la Construcción de Catalizadores

Las normativas para la construcción de catalizadores aseguran que estos dispositivos sean efectivos, seguros y duraderos. Estas normativas incluyen especificaciones técnicas y pruebas rigurosas:

- ISO 22241:

Establece los requisitos para el uso de urea de calidad automotriz en sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) en motores diésel, lo que es relevante para catalizadores que usan AdBlue o DEF (Diesel Exhaust Fluid).

- SAE J1939:

Es un estándar de la Society of Automotive Engineers (SAE) que define los requisitos para los sistemas de comunicaciones y diagnóstico en vehículos comerciales, incluyendo los sistemas de control de emisiones.

- Reglamentos de la ECE (Economic Commission for Europe):

Varios reglamentos de la ECE, como el Reglamento No. 83, establecen los procedimientos de prueba y requisitos técnicos para los catalizadores usados en vehículos de motor.

1.26 Normativas Específicas para Catalizadores

- Directiva 2009/40/EC (Unión Europea):

Regula las inspecciones técnicas de vehículos, asegurando que los catalizadores funcionen correctamente durante toda la vida útil del vehículo.

- Regulación de la EPA 40 CFR Part 86 (Estados Unidos):

Define los estándares de emisiones y los requisitos de durabilidad para los sistemas de control de emisiones, incluyendo los catalizadores, en vehículos ligeros y pesados.

- Reglamento UN R103:

Específicamente para catalizadores de repuesto, establece los requisitos de desempeño y durabilidad para asegurar que los catalizadores de repuesto sean tan efectivos como los originales.

1.27 Normativa de Termografía

La termografía es una técnica usada para detectar y medir patrones de temperatura. Las normativas relacionadas con la termografía aseguran la precisión y fiabilidad de las mediciones:

- ISO 18434:

Establece las directrices y procedimientos para la aplicación de la termografía infrarroja en la monitorización de la condición de equipos.

- ASTM E1934:

Proporciona un estándar para la práctica de la termografía infrarroja para la inspección y diagnóstico de equipos y estructuras.

- IEC 60584:

Especifica las tolerancias y características de los termopares, que son esenciales para las mediciones precisas en termografía.

CAPÍTULO II

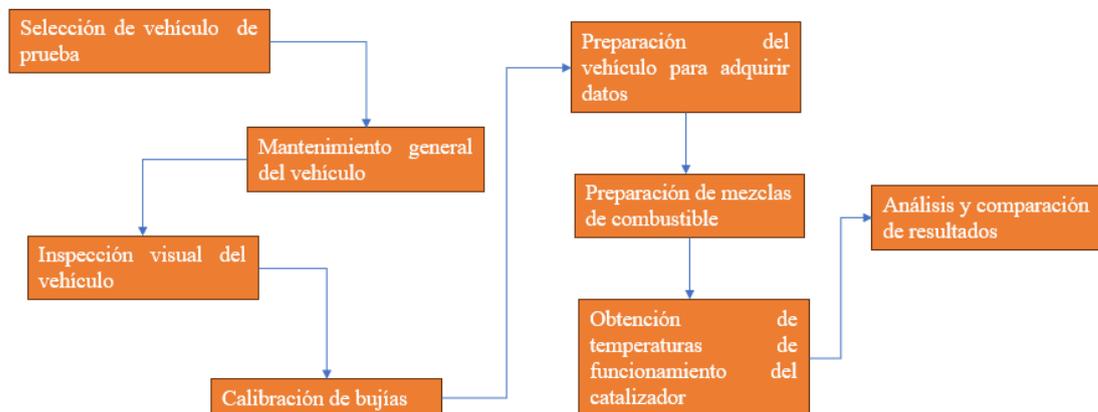
METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DE PRUEBAS TERMOGRÁFICAS EN EL CATALIZADOR

El desarrollo de pruebas termográficas en catalizadores automotrices es una tarea fundamental para entender cómo diferentes mezclas de combustible afectan el rendimiento y la eficiencia de estos componentes críticos.

Para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados, se deben seguir una serie de pasos meticulosamente planificados que abarcan desde la selección y preparación del vehículo de prueba hasta la adquisición de datos y el análisis de los resultados.

Figura 2.1

Flujograma metodología utilizada para adquisición de datos



Nota: En la imagen se detalla un flujograma con las actividades a realizar para la adquisición de datos.

2.1 Selección de vehículo de prueba

La selección del vehículo para las pruebas es una etapa fundamental en nuestra metodología de investigación, ya que influye directamente en la pertinencia y aplicabilidad de los resultados obtenidos. En este estudio, se ha optado por utilizar un Suzuki Vitara de 3 puertas,

modelo 2012. Este vehículo fue elegido debido a su alta aceptación en el segmento de todoterrenos compactos y por sus características técnicas representativas.

El Chevrolet Vitara 2012 destaca por su confiabilidad, versatilidad y rendimiento tanto en entornos urbanos como en terrenos difíciles. Estas cualidades lo convierten en un excelente candidato para realizar diversas pruebas de rendimiento y análisis mecánico. Además, sus especificaciones y diseño permiten que los datos obtenidos sean extrapolables a otros vehículos con características similares.

Figura 2.2

Vehículo seleccionado para el estudio



Nota: *Vehículo modelo Vitara 3p. Fuente: Autores.*

2.2 Especificaciones técnicas del vehículo seleccionado

En esta sección se presentan las especificaciones técnicas del Suzuki Vitara 3 puertas, año 2012. Estas características incluyen detalles sobre su motor, transmisión, dimensiones y otros aspectos relevantes que son cruciales para comprender su desempeño en las pruebas realizadas. A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del vehículo:

Tabla 2.1

Especificaciones técnicas

Elemento	Estado
Posición del motor	Longitudinal
Número de cilindros	4 en línea
Cilindrada	1590 cc
Relación de compresión	8,9:1
Número de válvulas	16
Potencia máxima	94,7 HP
Torque máximo	13,5 kg.m
Alimentación de combustible	Mono punto
Transmisión	5 velocidades
Peso bruto vehicular	1450 kg

Nota: En esta tabla se detallan los datos técnicos del vehículo. Fuente: Ficha técnica

2.3 Mantenimiento general del vehículo

El mantenimiento general de un vehículo es una práctica esencial para garantizar su rendimiento óptimo, seguridad y longevidad. A lo largo de la vida útil de un automóvil, este se enfrenta a diversas condiciones de manejo y desgaste natural, lo que hace imprescindible realizar inspecciones y servicios regulares.

Un mantenimiento adecuado no solo ayuda a prevenir averías inesperadas y costosas, sino que también asegura que el vehículo funcione de manera eficiente y segura. Este proceso incluye una serie de verificaciones y tareas que abarcan desde el sistema de motor hasta los neumáticos, los frenos y el sistema eléctrico.

2.4 Inspección condición visual del vehículo

Realizar una inspección visual del vehículo es una parte crucial del mantenimiento preventivo, ya que permite identificar posibles problemas antes de que se conviertan en fallos graves.

Este proceso consiste en una revisión minuciosa y sistemática de todas las partes visibles del automóvil, tanto por dentro como por fuera, para detectar cualquier signo de desgaste, daño o deterioro. Al llevar a cabo inspecciones visuales periódicas, se puede garantizar que el vehículo se mantenga en condiciones óptimas de funcionamiento, mejorar la seguridad en la conducción y extender la vida útil del coche.

A continuación, se presenta una tabla con una inspección visual realizada a diferentes componentes del vehículo seleccionado.

Tabla 2.2

Inspección visual de componentes del vehículo

Elemento	Estado
Banda de accesorios	Buen estado
Mangueras de motor, dirección, A/C, etc.	Buen estado
Filtro de aire motor, filtro de aire cabina.	Requiere atención futura
Componentes y conexiones de dirección.	Requiere atención futura
Guardapolvos de ejes, cardan, juntas, etc.	Buen estado

Nota: Inspección y chequeo general realizado en el vehículo con el fin de detectar anomalías en los componentes.

2.5 Calibración de bujías

La calibración de bujías es un procedimiento de mantenimiento esencial para asegurar el correcto encendido y funcionamiento del motor de un vehículo.

En el caso del Suzuki Vitara correctamente calibradas, pueden causar varios problemas, como fallos en el encendido, pérdida de potencia, aumento del consumo de combustible y emisiones más altas. de 3 puertas, ajustar la separación de las bujías a la especificación correcta, según el fabricante, es crucial para mantener el rendimiento y la eficiencia del motor.

La importancia de la calibración de bujías radica en que estas son responsables de encender la mezcla de aire y combustible dentro de los cilindros del motor.

Si las bujías no están correctamente calibradas, pueden causar varios problemas, como fallos en el encendido, pérdida de potencia, aumento del consumo de combustible y emisiones más altas.

Además, una calibración incorrecta puede provocar un desgaste prematuro de las bujías y otros componentes del motor, lo que podría derivar en reparaciones costosas. Mantener las bujías bien calibradas es esencial para garantizar un encendido eficiente, una combustión completa y un funcionamiento suave del motor, contribuyendo así a la longevidad y el rendimiento óptimo del vehículo.

- **En Condiciones de Frío:**

De acuerdo con el manual del fabricante, las bujías deben calibrarse a un espacio de 0,9 mm cuando se encuentren en condiciones de frío. Esta calibración asegura un rendimiento óptimo del encendido, evitando problemas comunes como el arranque dificultoso o la pérdida de potencia.

- **En Condiciones de Caliente:**

Las bujías también deben mantener la calibración de 0,9 mm en condiciones de caliente. Esto garantiza que el sistema de encendido funcione correctamente bajo cargas térmicas elevadas, mejorando la eficiencia del motor y reduciendo las emisiones contaminantes.

Figura 2.3

Calibración de bujías



Nota: Calibración de bujías usando un gauge en milímetros. Fuente: Autores.

2.6 Prueba de compresión

La prueba de compresión es una técnica fundamental en el mantenimiento y diagnóstico de motores de combustión interna. Este procedimiento mide la presión que genera un cilindro durante su ciclo de compresión, proporcionando una indicación directa del estado interno del motor. Es esencial para identificar problemas como anillos de pistón desgastados, válvulas con fugas o juntas de culata defectuosas, todos los cuales pueden afectar significativamente el rendimiento y la eficiencia del motor.

Luego de verificar la compresión se obtuvieron los siguientes resultados en tres pruebas distintas que se realizaron para los cuatro cilindros del vehículo:

Tabla 2.3

Prueba de compresión

Cilindro 1 (PSI)	Cilindro 2 (PSI)	Cilindro 3 (PSI)	Cilindro 4 (PSI)
128	126	122	122
134	128	121	122
130	128	125	122

Nota: Prueba de compresión realizada en los cilindros del motor del vehículo seleccionado.

Los datos de compresión muestran que todos los cilindros del motor tienen valores de compresión dentro del rango óptimo especificado por el fabricante, que está entre 120 y 150 psi. Esto sugiere que el motor tiene un desgaste general mínimo. Sin embargo, los valores absolutos más bajos observados podrían ser indicativos del envejecimiento natural del motor, como la acumulación de depósitos de carbón o el desgaste de componentes clave como los aros de pistón o las válvulas. Los valores promediados son: cilindro 1 - 130 psi, cilindro 2 - 128 psi, cilindro 3 - 125 psi y cilindro 4 - 122 psi. Aunque todos los cilindros están dentro del rango aceptable, se observa una disminución gradual en la compresión desde el cilindro 1 al cilindro 4. Esta tendencia podría indicar un desgaste ligeramente mayor en los cilindros posteriores, posiblemente debido a diferencias en la lubricación o el enfriamiento. de cada cilindro a lo largo del tiempo.

2.7 Prueba de fugas

La prueba de fugas es un procedimiento fundamental para diagnosticar la integridad del sistema de combustión interna de un motor. En el caso del Suzuki Vitara 3 puertas del año

2012, esta prueba es esencial para identificar posibles problemas en las válvulas, los anillos de los pistones o la junta de culata, que podrían afectar el rendimiento y la eficiencia del motor.

La prueba de fugas permite detectar pérdidas de compresión en los cilindros, lo cual es crucial para mantener un funcionamiento óptimo del motor. Al realizar esta prueba, se inyecta aire comprimido en cada cilindro y se mide la tasa de fuga, lo que ayuda a localizar la fuente de cualquier problema. Una detección temprana de fugas puede prevenir daños mayores y costosas reparaciones. Para realizar esta prueba se utilizó un equipo OTC (probador de fugas de cilindros).

Figura 2.4

Instrumento de medición de fugas



Nota: Probador de fugas de cilindro OTC. Fuente: Autores.

- **Instrucciones de operación**

1. Encender el motor y esperar hasta que alcance su temperatura normal de funcionamiento (aproximadamente los 95°C). Apagar el motor.

2. Retirar todas las bujías. Retirar el filtro de aire, la tapa del radiador y la tapa de llenado del cárter.

3. Girar el cigüeñal hasta que el pistón del cilindro bajo prueba esté en el punto muerto superior de la carrera de compresión (válvulas cerradas).

4. Instalar el adaptador adecuado en el extremo de la manguera de prueba. Atornille el adaptador con la manguera de prueba conectada al orificio de la bujía.

5. Conectar la manguera de prueba de desconexión rápida al probador de fugas del cilindro.

6. Girar la perilla del regulador de presión del probador de fugas del cilindro completamente en el sentido contrario a las agujas del reloj.

7. Conecte una fuente de aire comprimido al probador. La presión de prueba utilizada debe ser 10 psi menor que la presión máxima producida por la fuente de aire, pero no debe exceder los 100 psi.

8. Girar lentamente la perilla del regulador de presión en el sentido de las agujas del reloj hasta que el manómetro izquierdo indique la presión de calibración deseada, en nuestro caso el valor de presión de ingreso fue de 75 psi. La presión de prueba no debe exceder los 100 psi. El manómetro de la derecha indicará la presión mantenida en el cilindro bajo prueba. La diferencia entre las lecturas del manómetro indica la cantidad de fuga en el cilindro. Consultar la tabla respectiva para ver las lecturas del medidor en comparación con el porcentaje de fuga. En este caso, en el cilindro 1 al regular 75 psi en el primer manómetro; en el segundo manómetro se registró el resultado de 74 psi lo que indica 1% de fuga. En el cilindro 2 y 3 igualmente se obtuvo un valor de 74 psi lo que indica 1% de fuga y finalmente en el cilindro 4 se registró 73.5 psi, lo que indica un 2% de fuga.

9. Al finalizar la prueba en cada cilindro, se recomienda siempre girar la perilla del regulador de presión completamente en el sentido contrario a las agujas del reloj antes de

desconectarlo, esto con el fin de liberar la presión de aire del equipo y poder retirarlo sin problemas y así evitar riesgos de accidentes.

A continuación, se detallan los valores obtenidos:

Tabla 2.4

Valores registrados de la comprobación de fugas en los cilindros

	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4
Valor registrado	74 PSI	74 PSI	74 PSI	73,5 PSI
Porcentaje de fugas	1%	1%	1%	2%

Nota: Se realizó la verificación de porcentaje de fugas, mediante el uso del fugómetro de cilindros marca OTC, con un valor de regulación de presión de aire a 75 psi.

Figura 2.5

Tabla para comparación de las lecturas del manómetro – equipo OTC

Left-Hand Gauge Reading	Right-Hand Gauge Reading, psi														
100 psi	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
90 psi	89	88	87	86	85.5	85	84	83	82	81	80	79	78	77	76.5
75 psi	74	73.5	73	72	71	70.5	70	69	68	67.5	67	66	65	64.5	64
Percentage of Leakage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Nota: Tabla respectiva para comparación de las lecturas del manómetro con el porcentaje de fuga en los cilindros. Fuente: Autores.

2.8 Preparación del vehículo para la adquisición de datos

La preparación adecuada del vehículo es un paso esencial para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recogidos durante las pruebas. En el caso del Suzuki Vitara 3 puertas 2012, se requiere una serie de modificaciones y ajustes específicos para adaptar el sistema de combustible y asegurar un suministro constante y controlado.

Este proceso incluye la instalación de un tanque y una bomba de combustible externa, la compra e instalación de mangueras adecuadas, y la desconexión de la bomba de combustible interna. Además, se realizarán adaptaciones en el sistema de filtro de combustible y la instalación de un interruptor para controlar la bomba externa. Finalmente, se ajustará la sincronización del motor para asegurar que funcione correctamente con el nuevo sistema de suministro de combustible.

A continuación, se detallan los pasos específicos y las consideraciones técnicas necesarias para llevar a cabo estas preparaciones, garantizando así que el vehículo esté listo para la adquisición precisa y efectiva de datos durante las pruebas.

- **Instalación de tanque y bomba externa**

Se requiere un tanque de combustible externo y una bomba de combustible externa para simular el suministro de combustible durante las pruebas.

Estos componentes deben ser compatibles con el tipo de combustible utilizado por el Suzuki Vitara 3 puertas 2012.

Especificaciones:

Tanque: Capacidad adecuada, mínimo de 5 litros de la total, para la duración de la prueba, materiales resistentes a la corrosión.

Bomba: Presión y caudal compatibles con las especificaciones del sistema de combustible del Vitara.

Especificaciones de la Bomba de Combustible

- **Presión de Trabajo:** Debe ser capaz de proporcionar al menos 4 bares (400 kPa) de presión de trabajo para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema de combustible del Vitara.
- **Caudal:** El caudal de la bomba debe ser suficiente para mantener un suministro constante de combustible a la presión requerida por el motor del Vitara. El caudal

necesario estimado es de 12.625 - 15.15 L/h con una presión de trabajo de 4 bares (400 kPa)

Figura 2.6

Instalación de tanque externo



Nota: Para las pruebas se requiere de un tanque externo para suministrar las mezclas de combustible-etanol. Fuente: Autores.

- **Instalación de manguera para alimentación de combustible**

Adquirir mangueras de combustible de alta calidad para conectar el tanque y la bomba externa al sistema de combustible del vehículo.

Especificaciones:

Material: Superficie: goma lisa de goma Interior: caucho de nitrilo. Capa exterior: caucho de nitrilo, resistente a los combustibles y a las altas temperaturas.

Diámetro: 1/4 de pulgada, aproximadamente 6.35 milímetros, compatible con las conexiones del tanque, bomba y sistema de combustible del vehículo.

Presión máxima: 300 psi

Figura 2.7

Manguera de alimentación de combustible



Nota: En la figura se aprecia una manguera que sirve para el canal de alimentación de combustible.

- **Desconectar Socket bomba de combustible**

Desconectar el conector eléctrico de la bomba de combustible interna del vehículo para evitar interferencias con la bomba externa durante las pruebas.

Procedimiento:

Localizar el Socket de la bomba de combustible en el depósito de combustible.

Desconectar con cuidado el conector, asegurándose de no dañar los cables o el conector mismo.

Figura 2.8

Socket de bomba de combustible



Nota: *Desconexión del Socket de bomba de combustible del vehículo. Fuente: Autores*

- **Adaptaciones de retorno y entrada de filtro de combustible**

Realizar las modificaciones necesarias para conectar las mangueras del tanque y la bomba externa a los puntos de entrada y retorno del filtro de combustible del vehículo.

Procedimiento:

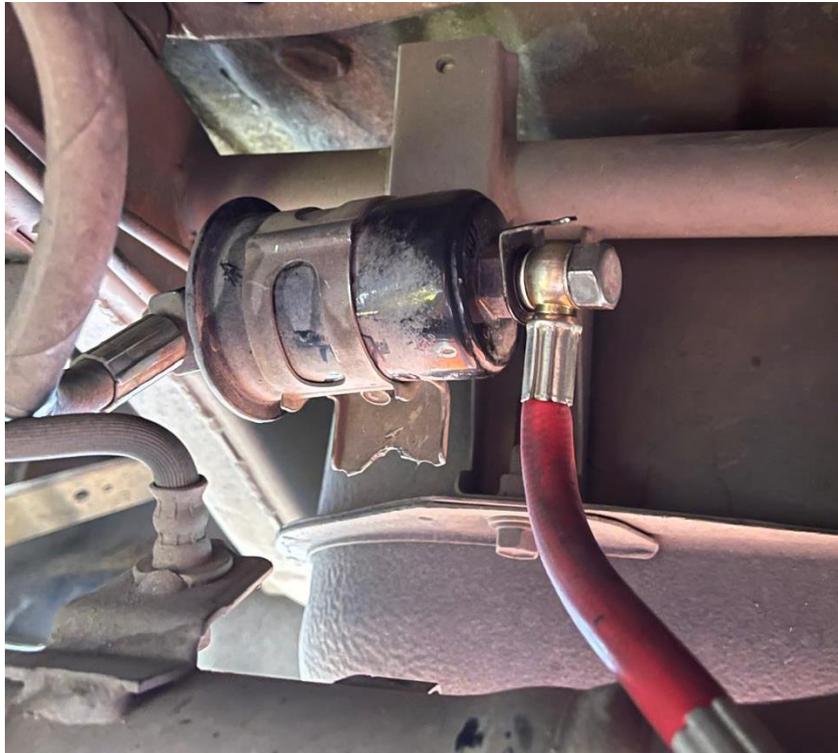
Entrada de Combustible: Conectar una manguera desde la bomba externa al punto de entrada del filtro de combustible.

Retorno de Combustible: Conectar una manguera desde el punto de retorno del filtro de combustible al tanque externo.

Asegurarse de que todas las conexiones estén bien ajustadas y no presenten fugas.

Figura 2.9

Instalación de acople a filtro de combustible



Nota: Adaptación de retorno y entrada al filtro de combustible para las pruebas. Fuente: Autores.

- **Instalación de switch para encender y apagar bomba externa.**

Instalar un interruptor para controlar la operación de la bomba externa, permitiendo encenderla y apagarla según sea necesario durante las pruebas.

Procedimiento:

Seleccionar un interruptor adecuado para la carga eléctrica de la bomba.

Instalar el interruptor en una ubicación accesible.

Conectar el interruptor al sistema eléctrico de la bomba, siguiendo el esquema de cableado recomendado por el fabricante.

Figura 2.10

Instalación de switch



Nota: *Instalación de switch para encender/apagar bomba de combustible. Fuente: Autores.*

- **Mover/ajustar el tiempo del motor**

Ajustar la sincronización del motor (timing) para asegurar que el motor funcione correctamente con el nuevo sistema de suministro de combustible.

Procedimiento:

Asegurarse de que el tiempo de encendido esté de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Realizar los ajustes necesarios girando el distribuidor.

2.9 Preparación de mezclas de combustible

El propósito de esta investigación es preparar y analizar diferentes mezclas de combustible-etanol para realizar pruebas termográficas en un catalizador. Estas pruebas buscan evaluar el comportamiento térmico y la eficiencia del catalizador cuando se utilizan diferentes proporciones de etanol y gasolina.

La relación de mezcla total es de 6 litros para cada proporción específica de etanol y gasolina. Este estudio permitirá comprender mejor cómo cada mezcla afecta el rendimiento del catalizador y contribuirá a optimizar el uso de biocombustibles en aplicaciones automotrices.

Para la preparación de las mezclas, se seguirán las siguientes proporciones:

➤ **Etanol 25% - Gasolina 75%**

Cantidad de etanol: 1.5 litros

Cantidad de gasolina: 4.5 litros

➤ **Etanol 50% - Gasolina 50%**

Cantidad de etanol: 3 litros

Cantidad de gasolina: 3 litros

➤ **Etanol 75% - Gasolina 25%**

Cantidad de etanol: 4.5 litros

Cantidad de gasolina: 1.5 litros

➤ **Etanol 100% - Gasolina 0%**

Cantidad de etanol: 6 litros

Cantidad de gasolina: 0 litros

2.10 Procedimiento para Realizar las Mezclas de Combustible-Etanol

Para asegurar que las proporciones de etanol y gasolina en las mezclas sean precisas y con el mínimo margen de error, se utilizarán probetas de laboratorio.

A continuación, se describe el procedimiento detallado:

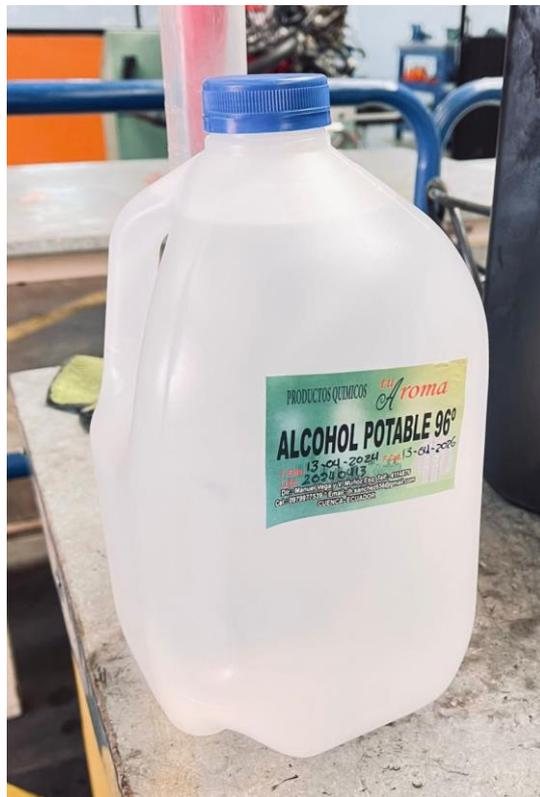
Materiales Necesarios

- Probetas graduadas
- Etanol
- Gasolina (Ecopaís)

- Embudos (si es necesario para evitar derrames)
- Contenedores de mezcla (Tanque externo con capacidad de al menos 6 litros)
- Guantes de protección y gafas de seguridad
- Área bien ventilada o campana de extracción

Figura 2.11

Alcohol potable - Etanol



Nota: Etanol utilizado para las pruebas a realizar. Fuente: Autores.

2.11 Preparación del Área de Trabajo

- Asegurarse de que el área de trabajo esté limpia y libre de materiales inflamables.
- Verifique que las probetas y contenedores estén limpios y secos para evitar contaminación de las muestras.

2.12 Medición de los Componentes

- Colocar la probeta graduada en una superficie plana y nivelada.
- Verter cuidadosamente el etanol en la probeta hasta alcanzar la cantidad requerida para la mezcla específica (por ejemplo, 1.5 litros para una mezcla de etanol 25% - gasolina 75%).
- Anotar el volumen medido y verifique que el nivel del líquido esté a la altura de la marca correspondiente, observando a nivel de los ojos para evitar errores de paralaje.
- Repetir el proceso para la gasolina, utilizando una probeta diferente para evitar la mezcla prematura de los componentes.

Figura 2.12

Probeta de laboratorio de 250ml



Nota: Probeta de laboratorio para medición de etanol y combustible eco país para realizar las mezclas correctas.

2.13 Preparación de la Mezcla

- Utilizar el embudo si es necesario para transferir el etanol medido al contenedor de mezcla.
- A continuación, verter la gasolina medida en el mismo contenedor.
- Asegurarse de que la transferencia se haga lentamente y sin salpicaduras para evitar la pérdida de material y asegurar la precisión de la mezcla.

2.14 Información Adicional sobre las Mezclas

Etanol 25% - Gasolina 75%

Esta mezcla tiene una alta proporción de gasolina, lo que significa que las características de combustión y las emisiones serán similares a las de la gasolina pura, pero con algunos beneficios adicionales del etanol, como una mayor resistencia a la detonación.

Etanol 50% - Gasolina 50%

Esta mezcla equitativa ofrece un balance entre los beneficios de la gasolina y el etanol. Se espera que tenga un comportamiento intermedio en términos de eficiencia de combustión, emisiones, y rendimiento del catalizador.

Etanol 75% - Gasolina 25%

Con una alta proporción de etanol, esta mezcla aprovechará más los beneficios del etanol, como su mayor octanaje y menor emisión de CO₂.

Sin embargo, puede requerir ajustes en el motor y el sistema de inyección para optimizar su rendimiento.

Etanol 100% - Gasolina 0%

El uso de etanol puro destaca por sus bajas emisiones de contaminantes y su capacidad de generar una combustión más limpia. Sin embargo, la compatibilidad del motor y el sistema de combustión debe ser cuidadosamente evaluada debido a las diferencias en las propiedades del etanol comparadas con la gasolina.

2.15 Obtención de temperaturas de funcionamiento del catalizador utilizando las distintas mezclas de combustible

El propósito de este procedimiento es obtener y analizar las temperaturas de funcionamiento del catalizador utilizando distintas mezclas de gasolina-etanol. Para lograr esto, se emplea una cámara termográfica que permite medir de manera precisa la temperatura en la superficie del catalizador. Las mezclas de combustible-etanol incluyen proporciones de etanol al 25%, 50%, 75% y 100%, mezcladas con gasolina.

El procedimiento implica preparar y cargar cada mezcla de combustible en el sistema de combustión, encender el motor, estabilizar la temperatura, y luego capturar imágenes térmicas del catalizador con la cámara termográfica.

2.16 Materiales Necesarios

- Mezclas de combustible-etanol preparadas
- Sistema de combustión con catalizador
- Cámara termográfica
- Sistema de adquisición de datos para la cámara termográfica
- Software de análisis de imágenes térmicas
- Herramientas para quitar el protector del catalizador
- Guantes de protección y gafas de seguridad
- Extintor de incendios (por seguridad)

- Área bien ventilada o campana de extracción

Figura 2.13

Cámara termográfica modelo Testo 882



Nota: Cámara termográfica a utilizar durante la adquisición de temperaturas de funcionamiento del catalizador. Fuente: Autores.

2.17 Procedimiento de Prueba

- Preparación del Motor

Asegurarse de que el motor esté en condiciones óptimas para la prueba, que haya alcanzado su temperatura de funcionamiento (95°C) aproximadamente.

Verificar que no haya fugas en el sistema de combustible.

- Quitar el Protector del Catalizador

Utilizar las herramientas adecuadas para quitar el protector del catalizador.

Asegurarse de que el área del catalizador esté completamente expuesta para una medición precisa con la cámara termográfica.

Figura 2.14

Catalizador sin protector



Nota: Superficie real del catalizador lista para realizar pruebas termográficas. Fuente: Autores.

➤ Carga del Combustible

Seleccionar una de las mezclas de combustible-etanol preparadas.

Llenar el tanque del sistema externo con la mezcla seleccionada.

➤ Encendido y Estabilización

Encender el motor y permitir que funcione hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento estable.

Monitorear las temperaturas utilizando la cámara termográfica para asegurar que esté registrando correctamente. La distancia recomendada para la medición, entre el catalizador y la cámara es de aproximadamente 0,5 metros.

➤ Registro de Datos

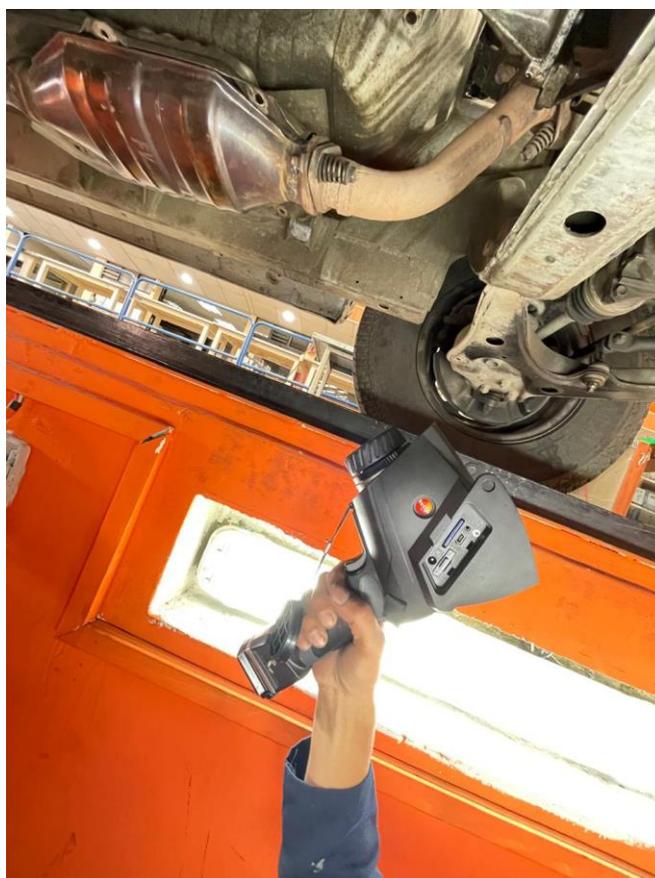
Una vez que el sistema esta estabilizado, iniciar la adquisición de datos con la cámara termográfica.

Permitir que el motor funcione durante un periodo de tiempo específico para asegurar la obtención de datos suficientes.

Capturar imágenes térmicas de la superficie del catalizador a intervalos regulares.

Figura 2.15

Pruebas termográficas



Nota: *Proceso de captura de temperaturas de funcionamiento del catalizador mediante el uso de la cámara termográfica. Fuente: Autores.*

2.18 Proceso de tres puntos en software de análisis

Tabla 2.5

Tabla de emisividad de distintos materiales

Material (temperatura del material)	Emisividad
Cuerpo negro	1
Piel humana	0,98
Agua	0,98
Amianto	0,95
Cerámica	0,95
Barro	0,95
Cemento	0,95
Tejido	0,95
Grava	0,95
Papel	0,95
Plástico	0,95
Goma	0,95
Madera	0,95
Cobre (oxidado)	0,68
Acero inoxidable	0,10
Cobre pulido	0,02
Aluminio pulido	0,05

Nota: Valores reales de emisividad para distintos materiales.

El análisis termográfico por medio del proceso de tres puntos es un método que se centra en capturar y evaluar las temperaturas en tres ubicaciones específicas del catalizador: la entrada, la mitad y la salida. Esta metodología permite un diagnóstico detallado y preciso del rendimiento térmico del catalizador y facilita la identificación de posibles problemas operativos.

Cabe recalcar que para los análisis termográficos se utiliza un valor de emisividad de 0,10 para el material del catalizador como referencia con la finalidad de minimizar el margen de error al momento de realizar la medición con la cámara termográfica.

Figura 2.16

Catalizador real del vehículo



Nota: Catalizador del vehículo de acero inoxidable. Fuente: Autores.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

TERMOGRÁFICAS REALIZADAS EN EL CATALIZADOR

En este capítulo, se llevará a cabo un análisis y comparación de los resultados obtenidos mediante pruebas termográficas realizadas en un catalizador. Los catalizadores juegan un papel crucial en los sistemas de escape de los vehículos, ya que son responsables de la reducción de emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx). Su correcto funcionamiento es esencial para cumplir con las normativas ambientales y para garantizar una operación eficiente del motor.

El análisis termográfico es una técnica avanzada que utiliza cámaras infrarrojas para capturar imágenes de la distribución de temperatura en la superficie del catalizador. Estas imágenes permiten identificar variaciones térmicas y evaluar el rendimiento del catalizador en tiempo real. En este estudio, se empleará el proceso de tres puntos, que consiste en medir las temperaturas en tres ubicaciones críticas del catalizador: la entrada, la mitad y la salida.

3.1 Ciclo de prueba

Para evaluar el comportamiento térmico del catalizador utilizando una cámara termográfica con diferentes mezclas de combustible: E0 (100% gasolina), E25 (25% etanol, 75% gasolina), E50 (50% etanol, 50% gasolina), E75 (75% etanol, 25% gasolina), y E100 (100% etanol), se consideran los siguientes puntos a tomar en cuenta dentro del ciclo de prueba establecido:

- Temperatura ideal de funcionamiento del motor: 90 °C (temperatura óptima del refrigerante).
- Distancia de medición de la cámara termográfica: Aproximadamente 50 cm desde la cámara hasta el catalizador.

- Intervalo de tiempo de espera para la siguiente prueba: 60 minutos entre cada prueba para asegurar el enfriamiento adecuado del catalizador.

Figura 3.1

Temperatura de funcionamiento del vehículo



Nota: *Temperatura de funcionamiento alcanzada para realizar las pruebas. Fuente: Autores.*

3.2 Software utilizado para el análisis termográfico

Para el análisis se utilizó el Testo IRSoft Software Versión 4. Tras realizar múltiples ajustes y pruebas, se determinó que una emisividad de 0.10 proporciona la lectura más cercana a la temperatura real del catalizador en condiciones normales de operación sin carga adicional. No obstante, debido a la alta reflectividad y las variaciones superficiales del acero inoxidable pulido, las lecturas de la cámara termográfica pueden presentar discrepancias menores.

Estas diferencias se atribuyen a la naturaleza variable de la emisividad y a las limitaciones inherentes de los dispositivos de medición. A pesar de esto, el valor de 0.10 se considera el más adecuado para obtener lecturas consistentes en las condiciones operativas actuales.

Delimitación de Zona de Interés: Se delimitó una zona específica del catalizador para evitar la influencia de componentes externos. Esto se logró utilizando la cámara termográfica para enfocar únicamente las temperaturas de la superficie del catalizador, excluyendo el chasis del vehículo y otros componentes adyacentes. Esta delimitación asegura que las mediciones reflejen fielmente el comportamiento térmico del catalizador.

3.3 Selección de Puntos de Medición:

Se definieron tres puntos de medición clave a lo largo del catalizador:

- **M1:** Entrada del Catalizador desde el Escape del Motor: Este punto mide la temperatura de los gases de escape al ingresar al catalizador.
- **M2:** Punto Medio del Catalizador: Proporciona una visión intermedia del rendimiento térmico dentro del catalizador.
- **M3:** Salida del Catalizador: Mide la temperatura de los gases de escape al salir del catalizador.

Estos puntos permiten obtener una perspectiva detallada de las variaciones de temperatura a lo largo de la longitud del catalizador.

3.4 Condiciones Ambientales de Medición

Para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en las pruebas termográficas del catalizador, es crucial considerar las condiciones ambientales en las que se realizaron las mediciones. Las temperaturas ambientales pueden influir significativamente en

el rendimiento térmico del catalizador y, por ende, en las lecturas obtenidas durante el análisis. A continuación, se describen las condiciones ambientales específicas antes y durante las mediciones termográficas.

3.5 Condiciones Ambientales Previas a la Medición

Las temperaturas ambientales en las 24 horas previas a la medición oscilaron entre un mínimo de 17 °C y un máximo de 21 °C. Estas condiciones previas son importantes ya que permiten estabilizar el entorno en el que se encuentra el vehículo, asegurando que el catalizador y otros componentes del sistema de escape no hayan sido sometidos a fluctuaciones térmicas significativas que puedan afectar los resultados del análisis termográfico. A continuación, se presenta una tabla de especificación de temperaturas ambientales:

Tabla 3.1

Temperatura ambiente exterior

Temperatura ambiente exterior	Mínimo °C	Máximo °C
24 horas antes de la medición	17	21
Durante la medición	19	21

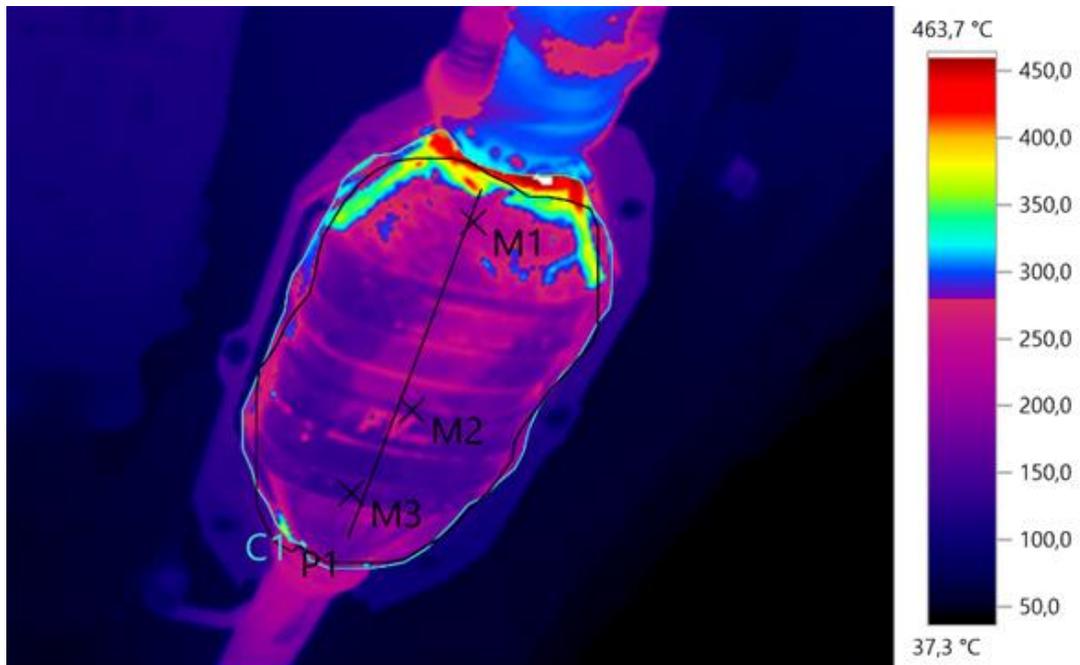
Nota: Especificaciones de las temperaturas ambiente antes y durante el proceso de termografía.

3.6 Análisis termográfico E0 (100% Combustible Eco País y 0% Etanol)

El análisis E0 se refiere a la evaluación termográfica del catalizador utilizando una mezcla de combustible-etanol en una proporción del 0% de etanol (E0), es decir, combustible puro sin la adición de etanol. Este análisis es crucial para establecer una línea base de comparación, ya que permite identificar el comportamiento térmico y la eficiencia del catalizador bajo condiciones operativas estándar sin el impacto de aditivos en el combustible.

Figura 3.2

Imagen térmica del catalizador – E0



Nota: Se representa la imagen térmica del catalizador mediante la cámara termográfica utilizando una mezcla E0.

La imagen térmica del catalizador revela una distribución de temperatura que varía desde aproximadamente 37,3°C hasta un máximo de 463,7°C. La parte superior del catalizador (punto M1) muestra las temperaturas más altas, lo cual es consistente con la entrada de gases de escape calientes y el inicio de las reacciones químicas.

En el punto intermedio del catalizador (M2), las temperaturas son más bajas que en M1, pero aún elevadas, indicando que las reacciones siguen ocurriendo y disipando calor. Hacia el final del catalizador (M3), las temperaturas disminuyen aún más, lo cual es esperado ya que los gases se enfrían al salir del catalizador.

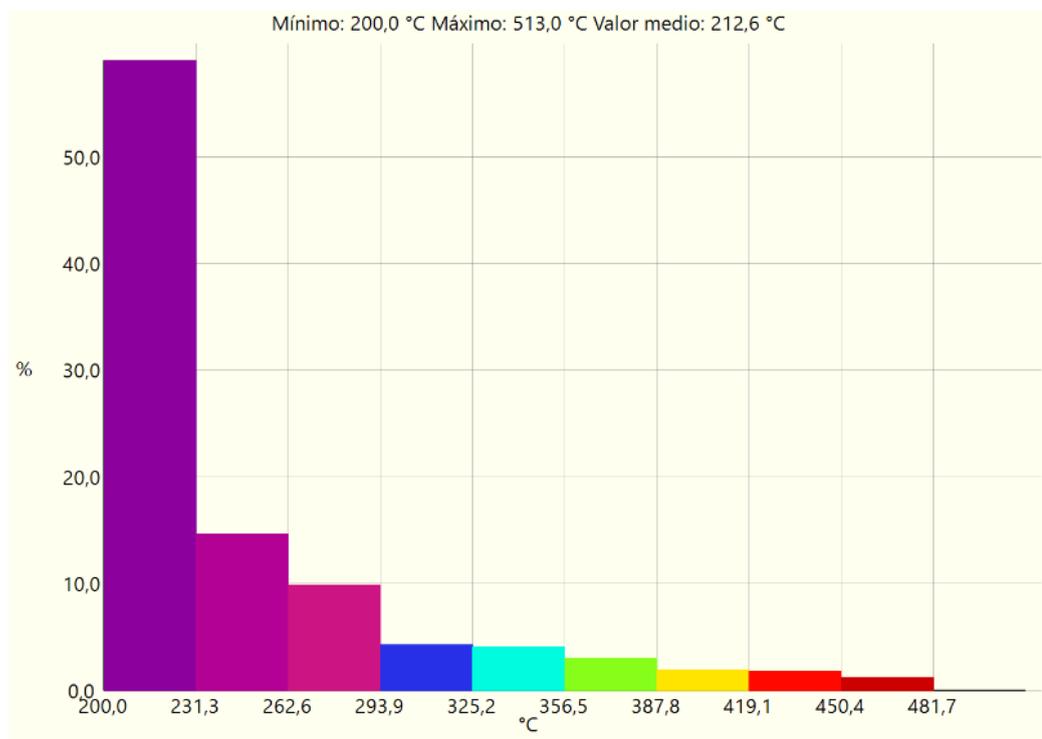
La distribución de calor observada es consistente con un catalizador que funciona correctamente, mostrando una buena eficiencia de las reacciones exotérmicas. Las altas

temperaturas en la entrada y la reducción gradual hacia la salida sugieren que las reacciones químicas necesarias para reducir las emisiones contaminantes están ocurriendo de manera eficiente a lo largo del catalizador. No se observan puntos fríos anormales, indicando que no hay zonas de fallo térmico o falta de reacción, lo que sugiere un rendimiento adecuado del catalizador.

3.7 Histograma de temperaturas del catalizador

Figura 3.3

Histograma de temperaturas



Nota: El histograma representa las temperaturas dentro del área seleccionada en el software de análisis.

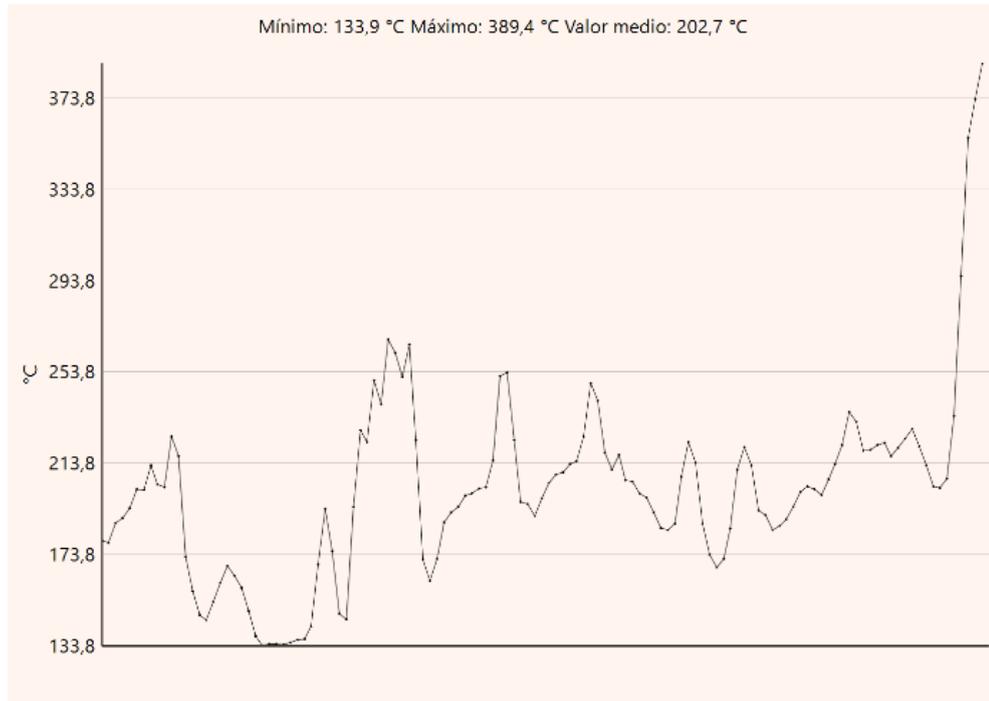
El histograma de temperaturas proporciona una visión detallada de la distribución térmica dentro del catalizador. La concentración de temperaturas alrededor de 170,9 °C y el valor medio de 206,8 °C sugieren un funcionamiento eficiente del catalizador, con variaciones térmicas esperadas en función de la operación normal del motor y el diseño del catalizador. Las

temperaturas elevadas en la cola del histograma son indicativas de puntos de alta actividad catalítica y eficiencia en la conversión de gases contaminantes.

3.8 Perfil de temperaturas en software E0

Figura 3.4

Perfil de temperaturas E0



Nota: Imagen proveniente del software de análisis que enmarca el perfil de las temperaturas alcanzadas del catalizador con la mezcla E0.

El gráfico muestra el perfil de temperatura de una mezcla de E0, es decir, 0% etanol y 100% gasolina. Las temperaturas registradas varían desde un mínimo de 133.9 °C hasta un máximo de 389.4 °C, con un valor medio de 202.7 °C. La curva del gráfico presenta fluctuaciones significativas a lo largo del tiempo, reflejando los cambios rápidos y regulares en la temperatura que son característicos del ciclo de combustión de un motor.

El patrón observado incluye varios picos y valles, sugiriendo variaciones en la carga del motor o en las condiciones de operación. Hacia el final del gráfico, se observa un aumento

brusco de la temperatura, lo que podría indicar una condición anómala, como un sobrecalentamiento o una operación bajo condiciones extremas.

3.9 Análisis de gases con mezcla E0

La siguiente tabla proporciona los resultados de las emisiones contaminantes de un motor utilizando una mezcla de combustible E0 (gasolina pura sin etanol) en dos condiciones operativas: ralentí y a 2500 rpm

Tabla 3.2

Emisiones contaminantes - E0

Emisiones contaminantes	E0 ralentí 800 rpm	E0 2500 rpm
CO [%]	0,55	0,82
HC [ppm]	274	141
CO2 [%]	13,9	13,7
O2 [%]	1,05	0,97

Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el analizador de gases cuando el vehículo trabaja con una mezcla de E0.

A ralentí, el motor muestra una combustión relativamente eficiente con bajo CO y altos HC, reflejando condiciones típicas de ralentí con menor temperatura y presión de combustión.

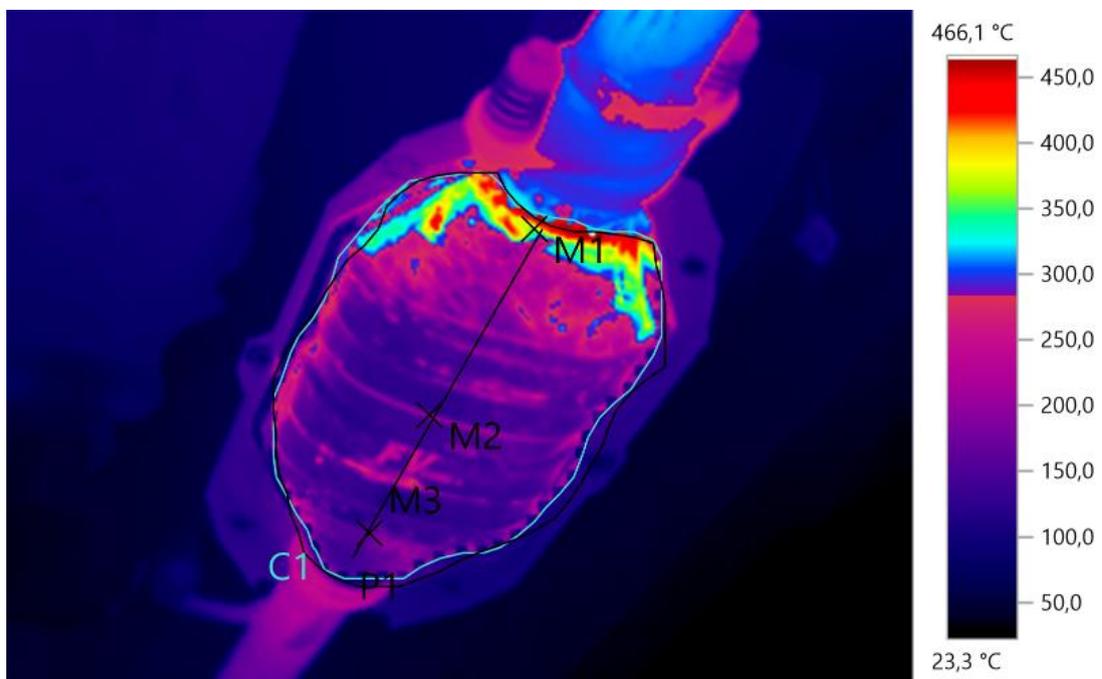
A 2500 rpm, se observa un aumento en CO y una disminución significativa en HC, sugiriendo una combustión más eficiente y completa a mayor velocidad del motor. La ligera reducción en CO2 y O2 indica un ajuste óptimo de la mezcla aire-combustible para condiciones de mayor carga.

3.10 Análisis termográfico E25 (75% Combustible Eco País y 25% Etanol)

La mezcla E25, compuesto por un 25% de etanol y un 75% de gasolina. El etanol, al ser un combustible renovable y de menor impacto ambiental, ofrece una alternativa viable y sostenible frente a los combustibles fósiles puros. El análisis del comportamiento térmico del catalizador cuando se utiliza una mezcla E25 es fundamental para entender cómo esta mezcla afecta la eficiencia de conversión de gases contaminantes y el rendimiento general del motor.

Figura 3.5

Imagen térmica del catalizador - E25



Nota: En la imagen se observan las temperaturas alcanzadas por el catalizador en los tres puntos de medición con la mezcla E25.

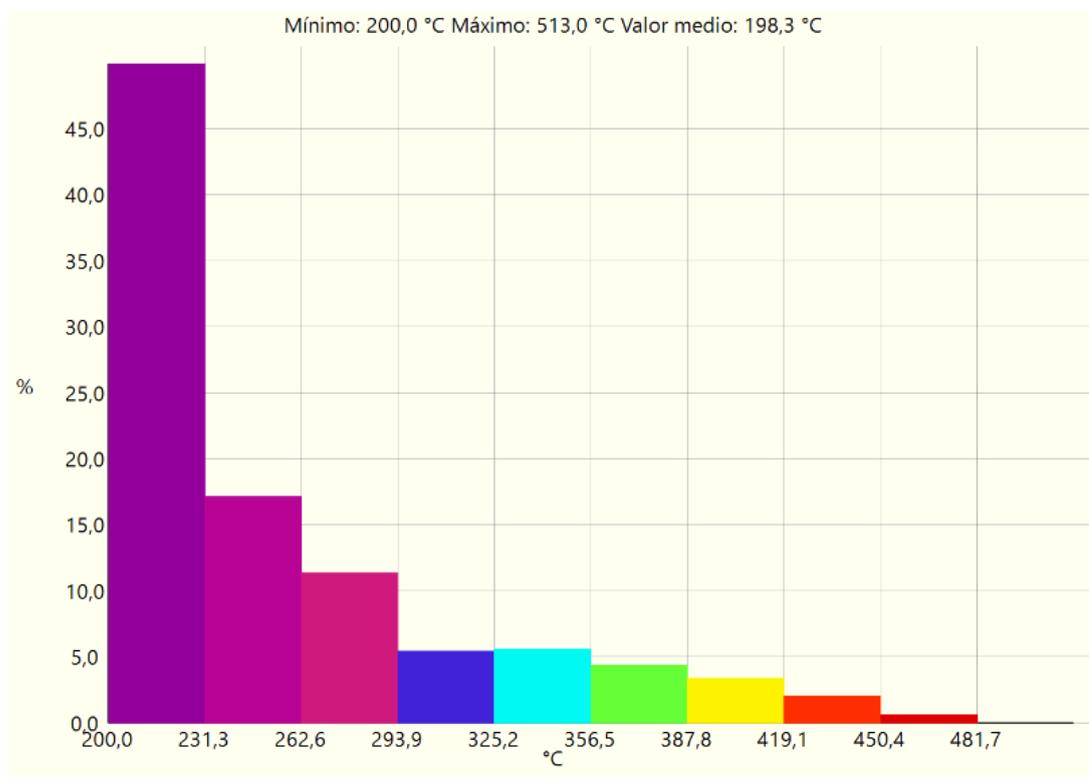
En los puntos de medición, se observa una clara variación térmica. El Punto de medición (M1) presenta la temperatura más alta, 363.4 °C, lo que indica una mayor exposición a la fuente de calor. En contraste, el Punto de Medición M3 tiene la temperatura más baja, 175.4 °C, sugiriendo una mejor disipación térmica o menor exposición.

Las diferencias de temperatura son significativas. La diferencia entre el Punto de Medición M1 y el Punto de Medición M2 es de 167.5 °C, lo que revela un fuerte gradiente térmico. En cambio, la diferencia entre el Punto de Medición M2 y el Punto de Medición M3 es solo de 20.5 °C, lo que indica una distribución más uniforme del calor en esa región.

3.11 Histograma de temperaturas de catalizador – E25

Figura 3.6

Histograma de temperaturas - E25



Nota: El histograma representa las temperaturas dentro del área seleccionada para la mezcla E25 en el software de análisis.

El histograma de temperaturas del área seleccionada del catalizador muestra un rango de temperaturas desde 77,1°C hasta un máximo de 464,0°C, con una temperatura media de 196,2°C. La mayor frecuencia de temperaturas se encuentra entre 115,8°C y 154,5°C, representando alrededor del 7-8% del total de las mediciones. A medida que la temperatura

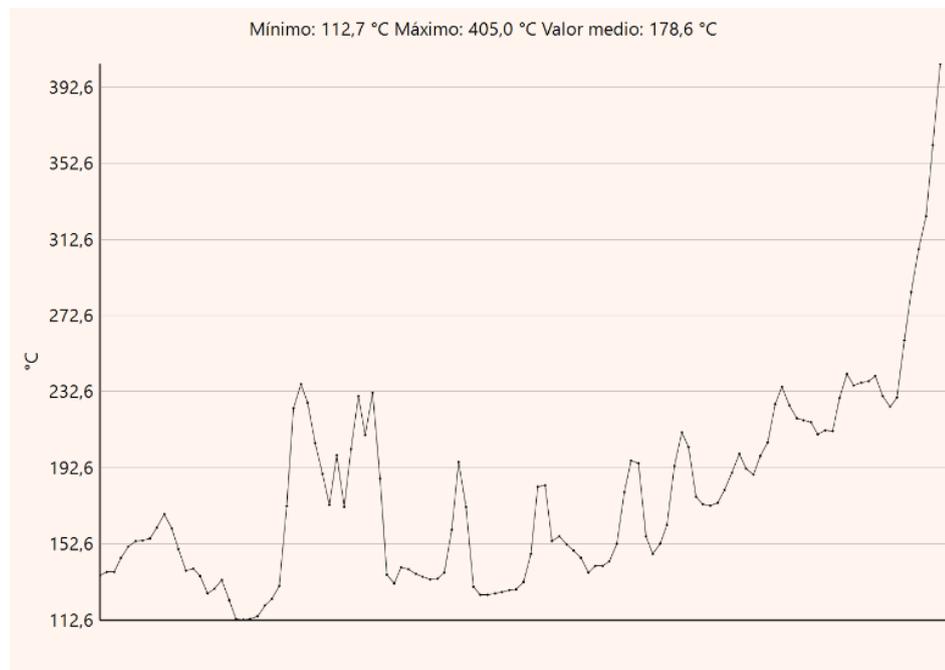
aumenta, la frecuencia de ocurrencia disminuye, mostrando una distribución asimétrica con un sesgo hacia la derecha.

La mayoría de las temperaturas registradas se encuentran por debajo de los 200°C, lo que sugiere que una gran parte del catalizador está operando a temperaturas relativamente bajas. Sin embargo, la presencia de temperaturas máximas de hasta 464°C indica zonas de alta actividad de reacciones exotérmicas, especialmente cerca de la entrada de los gases de escape, donde se espera que ocurra la mayor parte de la oxidación y reducción de los contaminantes. La distribución térmica sesgada hacia la derecha y la disminución gradual de la frecuencia de temperaturas más altas indican que el calor no se distribuye uniformemente a lo largo del catalizador. Esto es típico debido al flujo de gases y las reacciones internas.

3.12 Perfil de temperaturas en software E25

Figura 3.7

Perfil de temperaturas E25



Nota: *Imagen proveniente del software de análisis que enmarca el perfil de las temperaturas alcanzadas del catalizador con la mezcla E25.*

La imagen muestra el perfil de temperatura alcanzado por el catalizador al trabajar con una mezcla de E25, es decir, 25% etanol y 75% gasolina.

Las temperaturas registradas varían entre un mínimo de 112.7 °C y un máximo de 405.0 °C, con un valor medio de 178.6 °C. La curva del gráfico presenta múltiples picos y valles, similares al comportamiento observado en el perfil de E0, pero con un menor valor medio de temperatura. Hacia el final del gráfico, hay un aumento brusco de la temperatura, lo que podría indicar condiciones de operación más extremas o un sobrecalentamiento del catalizador.

3.13 Análisis de gases con mezcla E25

La siguiente tabla proporciona los resultados de las emisiones contaminantes de un motor utilizando una mezcla de combustible E25 (gasolina 75% y 25% etanol) en dos condiciones operativas: ralentí y a 2500 rpm.

Tabla 3.3

Emisiones contaminantes - E25

Emisiones contaminantes	E25 ralentí 800 rpm	E25 2500 rpm
CO [%]	0,54	0,71
HC [ppm]	201	117
CO2 [%]	13,8	13,9
O2 [%]	1,1	0,87

Nota: *En la tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el analizador de gases cuando el vehículo trabaja con una mezcla de E25.*

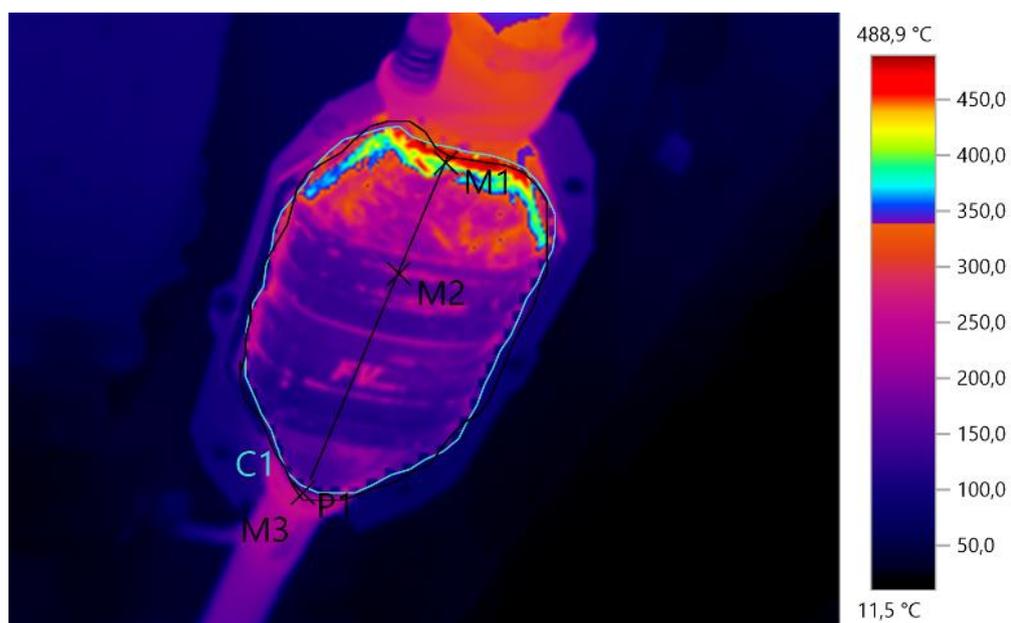
Los resultados indican que la combustión es más completa a 2500 rpm en comparación con el ralentí. Esto se evidencia en las menores emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y la menor presencia de oxígeno (O₂) en los gases de escape a mayor velocidad del motor. La disminución de HC de 201 ppm a 117 ppm y de O₂ de 1,19% a 0,87% sugiere una mejor utilización del combustible y del oxígeno en la combustión a 2500 rpm.

Aunque las emisiones de monóxido de carbono (CO) aumentan ligeramente de 0,54% a 0,71% al incrementar los rpm, este cambio es relativamente pequeño y dentro de lo esperado para variaciones en la velocidad del motor. Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), un indicador de la eficiencia de la combustión, permanecen prácticamente constantes, con valores de 13,87% en ralentí y 13,97% a 2500 rpm, lo que sugiere una eficiencia de combustión comparable en ambos regímenes.

3.14 Análisis termográfico E50 (50% Combustible Eco País y 50% Etanol)

Figura 3.8

Imagen térmica del catalizador - E50



Nota: En la imagen se observan las temperaturas alcanzadas por el catalizador en los tres puntos de medición con la mezcla E50.

Las temperaturas alcanzadas por el catalizador al trabajar con una mezcla E50 (50% etanol y 50% gasolina) muestran una variación significativa a lo largo de sus puntos de medición. El Punto de Medición M1, con 428,3°C, registra la temperatura más alta, lo cual es indicativo de una alta actividad de reacciones químicas en la entrada del catalizador. Esto sugiere que los gases de escape están entrando calientes y que las reacciones de oxidación y reducción están ocurriendo de manera eficiente en esta área.

El Punto de Medición M2, con una temperatura de 237,2°C, muestra una disminución notable de la temperatura, reflejando la transferencia de calor y la progresión de las reacciones químicas a medida que los gases fluyen a través del catalizador. Esta temperatura intermedia es típica de la parte media del catalizador, donde las reacciones continúan, pero con menos intensidad.

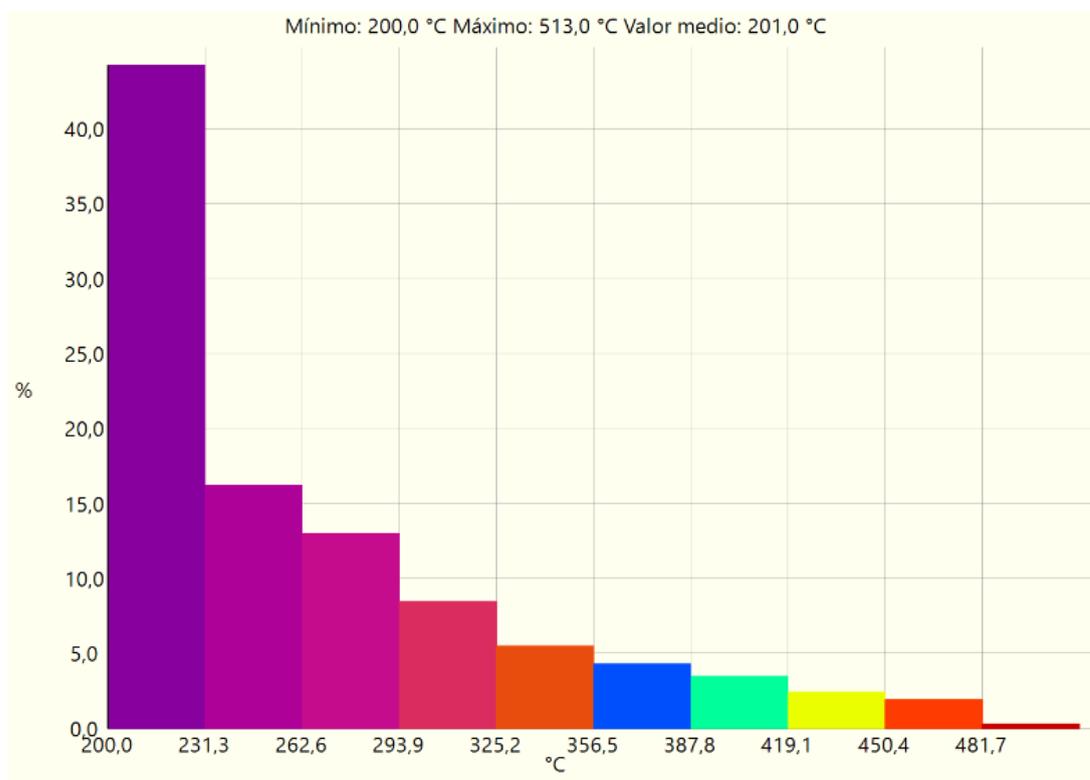
Finalmente, el Punto de Medición M3, que registra 219,1°C, indica una menor actividad térmica cerca de la salida del catalizador. Esto sugiere que la mayoría de los contaminantes han sido convertidos y que los gases están enfriándose mientras salen del sistema. La disminución de la temperatura hacia la salida es esperada y deseable para evitar sobrecalentamientos y mantener la integridad estructural del catalizador.

Las temperaturas observadas con la mezcla E50 reflejan un funcionamiento eficiente del catalizador, con una alta eficiencia de combustión al inicio y una adecuada disipación del calor hacia el final. La mezcla de etanol y gasolina parece optimizar la combustión y contribuir a mantener las temperaturas necesarias para una conversión efectiva de los contaminantes.

3.15 Histograma de temperaturas de catalizador – E50

Figura 3.9

Histograma de temperaturas - E50



Nota: *El histograma representa las temperaturas dentro del área seleccionada para la mezcla E50 en el software de análisis.*

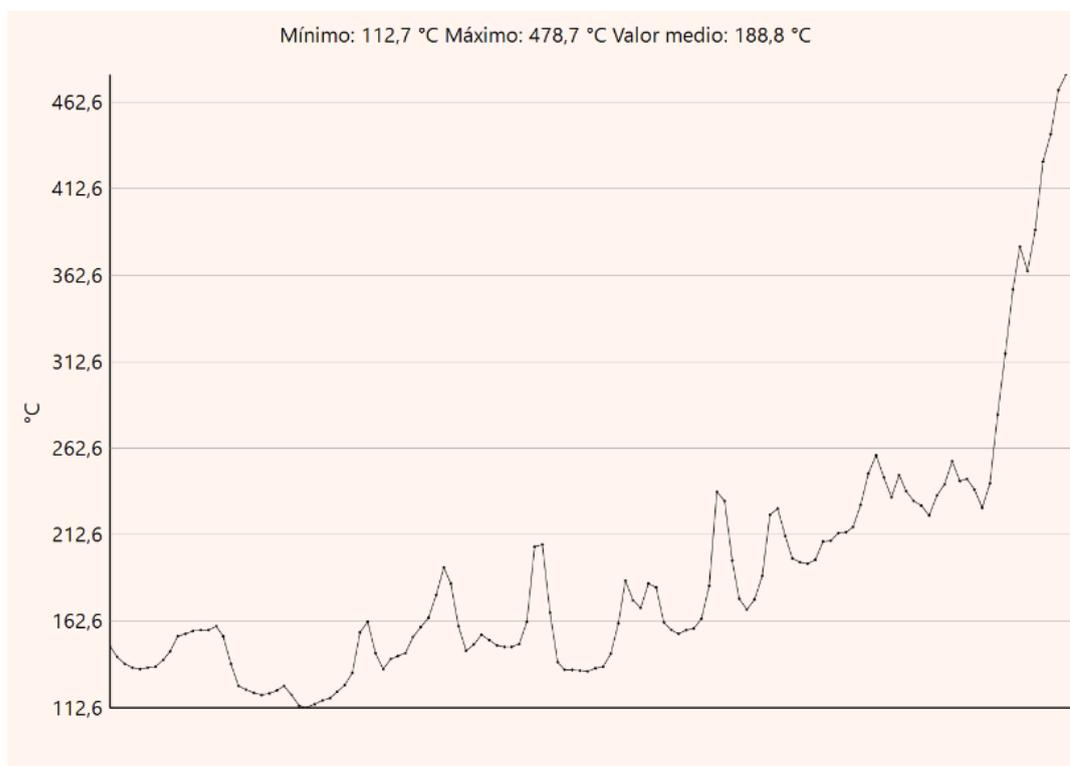
las temperaturas observadas con la mezcla E50 reflejan un funcionamiento eficiente del catalizador. La mezcla de etanol y gasolina parece optimizar la combustión, proporcionando temperaturas iniciales altas necesarias para una conversión efectiva de los contaminantes.

La distribución térmica muestra una alta eficiencia de combustión en la entrada y una adecuada disipación del calor hacia la salida, lo que sugiere un buen rendimiento del sistema de escape y del propio catalizador.

3.16 Perfil de temperaturas en software E50

Figura 3.10

Perfil de temperaturas E50



Nota: Imagen proveniente del software de análisis que enmarca el perfil de las temperaturas alcanzadas del catalizador con la mezcla E50.

La imagen representa el perfil de temperatura del catalizador con una mezcla de E50, es decir, 50% etanol y 50% gasolina. Las temperaturas oscilan entre un mínimo de 112.7 °C y un máximo de 478.7 °C, con un valor medio de 188.8 °C.

Al igual que en los otros perfiles, la curva muestra fluctuaciones regulares con picos y valles, aunque en este caso, el aumento brusco de temperatura hacia el final es más pronunciado, alcanzando temperaturas más altas en comparación con las mezclas de E0 y E25.

3.17 Análisis de gases con mezcla E50

Tabla 3.4

Emisiones contaminantes - E50

Emisiones contaminantes	E50 ralenti 800 rpm	E50 2500 rpm
CO [%]	0,46	0,60
HC [ppm]	178	118
CO2 [%]	14	14,07
O2 [%]	1,07	0,85

Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el analizador de gases cuando el vehículo trabaja con una mezcla de E50.

CO (Monóxido de Carbono): El CO aumenta del 0,46g en ralenti a 0,60g a 2500 rpm, lo que representa un incremento del 30,4%, indicando una combustión incompleta bajo mayor carga y la necesidad de optimizar la mezcla de combustible.

HC (Hidrocarburos No Quemados): Disminuye del 178 ppm en ralenti al 118 ppm a 2500 rpm, lo que equivale a una reducción del 33,7%, sugiriendo una mejora en la eficiencia de la combustión a mayores revoluciones.

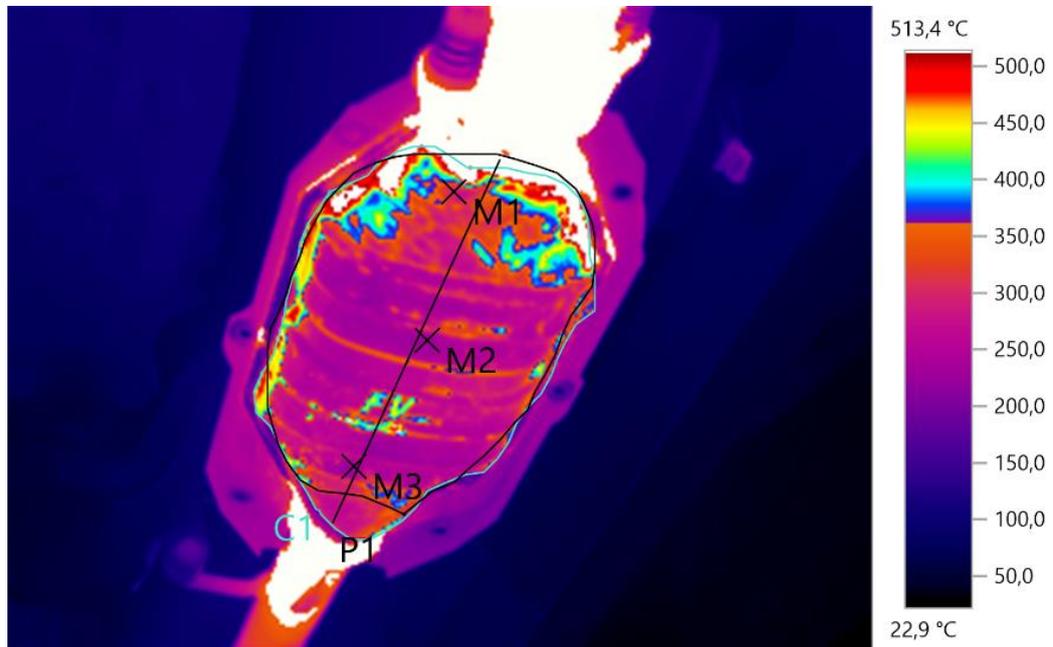
CO2 (Dióxido de Carbono): Se mantiene constante alrededor de 14g, lo que indica una eficiencia en la combustión. Sin embargo, este nivel relativamente bajo podría señalar una mezcla rica.

O2 (Oxígeno): La reducción de O2 al aumentar las rpm representa una disminución del 20,5%, lo que sugiere una mejor utilización del oxígeno en el proceso de combustión.

3.18 Análisis termográfico E75 (25% Combustible Eco País y 75% Etanol)

Figura 3.11

Imagen térmica del catalizador - E75



Nota: En la imagen se observan las temperaturas alcanzadas por el catalizador en los tres puntos de medición con la mezcla E75.

La imagen presentada muestra un análisis termográfico de un objeto, presumiblemente un dispositivo mecánico o un componente de un sistema, con una escala de temperatura que varía entre 22.9 °C y 513.4 °C. La imagen se interpreta mediante colores que representan diferentes rangos de temperatura, siendo los colores más oscuros (azules y negros) las áreas más frías y los colores más claros (rojos y blancos) las áreas más calientes.

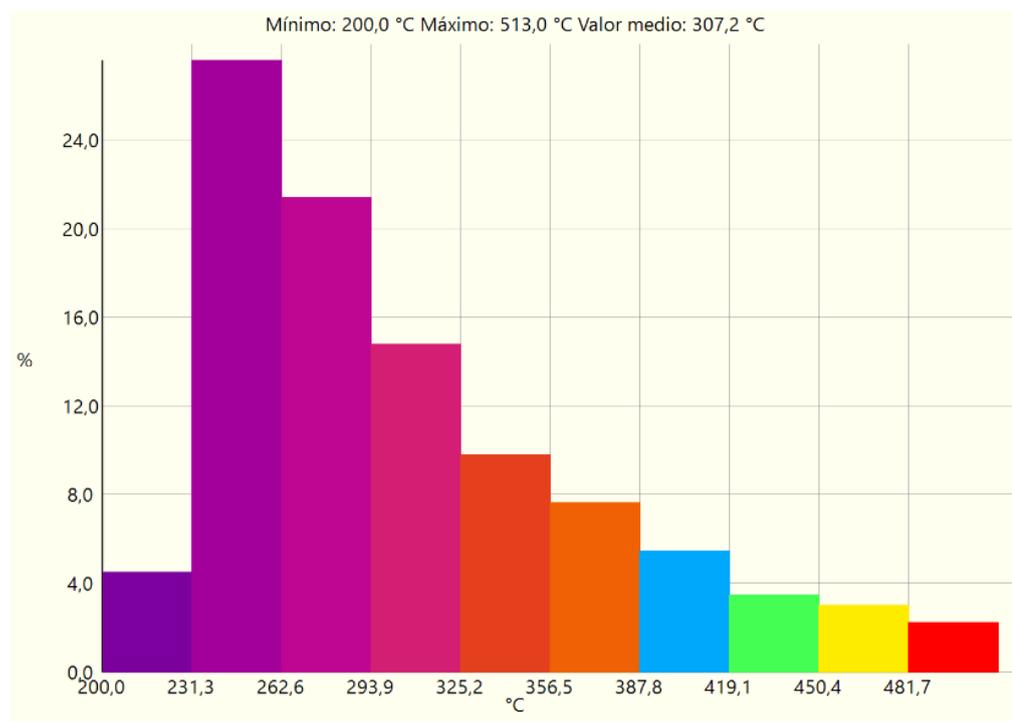
La disminución de la temperatura hacia M2 y M3 sugiere que el calor generado se disipa a medida que los gases avanzan a través del catalizador, o que las reacciones químicas en estas áreas son menos intensas. Esta gradiente térmica es esperada en catalizadores operativos, reflejando un funcionamiento adecuado donde las reacciones exotérmicas son más intensas al inicio y disminuyen progresivamente.

Para mantener la eficiencia y seguridad del catalizador, se recomienda un monitoreo continuo de las temperaturas en diferentes puntos para asegurarse de que permanecen dentro de los rangos operativos seguros. Además, realizar inspecciones y mantenimiento regulares es crucial para evitar acumulaciones de residuos que puedan afectar la eficiencia térmica y química del catalizador. Si las temperaturas sugieren una mezcla de gases inadecuada, ajustar la composición de la mezcla puede optimizar el rendimiento y prolongar la vida útil del catalizador.

3.19 Histograma de temperaturas de catalizador – E75

Figura 3.12

Histograma de temperaturas – E75



Nota: El histograma representa las temperaturas dentro del área seleccionada para la mezcla E75 en el software de análisis.

El histograma de frecuencias de temperaturas del catalizador muestra una amplia variación en la distribución térmica, con temperaturas que oscilan entre 154,2 °C y 513,4 °C y

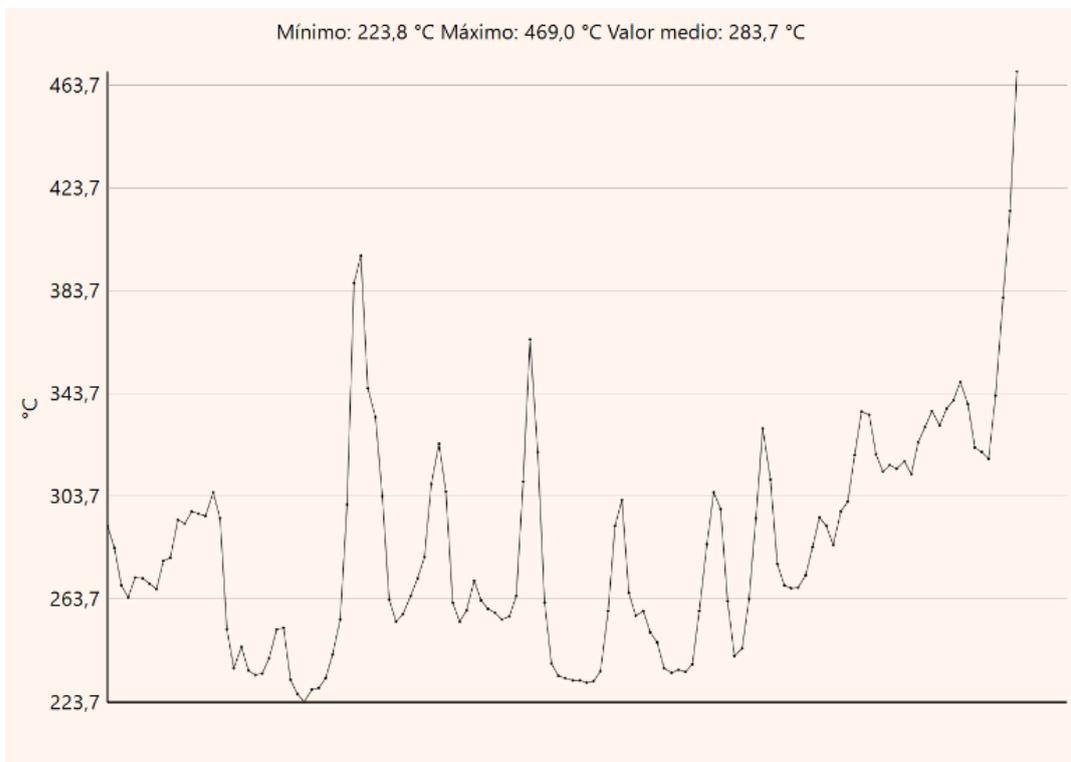
un valor medio de 307,2 °C. La mayor concentración de temperaturas se encuentra alrededor de los 262 °C, indicando que una gran parte del catalizador opera eficientemente en este rango. Sin embargo, hay una disminución gradual en la frecuencia a medida que las temperaturas se alejan de este pico central.

Las temperaturas más bajas, alrededor de 154,2 °C, y las más altas, hasta 513,4 °C, tienen frecuencias significativamente menores. Esto sugiere que solo pequeñas porciones del catalizador experimentan estas temperaturas extremas. Las áreas con temperaturas muy altas podrían indicar puntos calientes que necesitan monitoreo para prevenir daños, mientras que las áreas con temperaturas bajas podrían estar subutilizadas o tener problemas de flujo de gases.

3.20 Perfil de temperaturas en software E75

Figura 3.13

Perfil de temperaturas E75



Nota: Imagen proveniente del software de análisis que enmarca el perfil de las temperaturas alcanzadas del catalizador con la mezcla E75

Para una mezcla E75, es decir, 75% etanol y 25% gasolina, las temperaturas registradas presentan un comportamiento distinto comparado con las mezclas de menor contenido de etanol. La temperatura máxima alcanzada es de 463.7 °C, la mínima es de 223.7 °C, y la temperatura media es de 283.7 °C.

El perfil de temperatura de la mezcla E75 muestra un incremento significativo en los valores de temperatura media y mínima en comparación con las mezclas de E0, E25 y E50. La mayor temperatura mínima (223.7 °C) sugiere que el sistema opera a temperaturas más elevadas incluso en sus puntos más bajos, lo que puede ser indicativo de una combustión más completa y eficiente debido al alto contenido de oxígeno en el etanol.

3.21 Análisis de gases con mezcla E75

Tabla 3.5

Emissiones contaminantes - E75

Emisiones contaminantes	E75 ralentí 800 rpm	E75 (2500 rpm)
CO [%]	0,46	0,60
HC [ppm]	178	118
CO2 [%]	14	14,07
O2 [%]	1,07	0,85

Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el analizador de gases cuando el vehículo trabaja con una mezcla de E75.

Las emisiones de CO aumentan considerablemente con el incremento de la velocidad del motor, lo que puede indicar una combustión menos eficiente o la presencia de mezclas más ricas a altas revoluciones. Sin embargo, las emisiones de HC disminuyen, lo que sugiere una mejora en la eficiencia de combustión en términos de hidrocarburos no quemados. El aumento

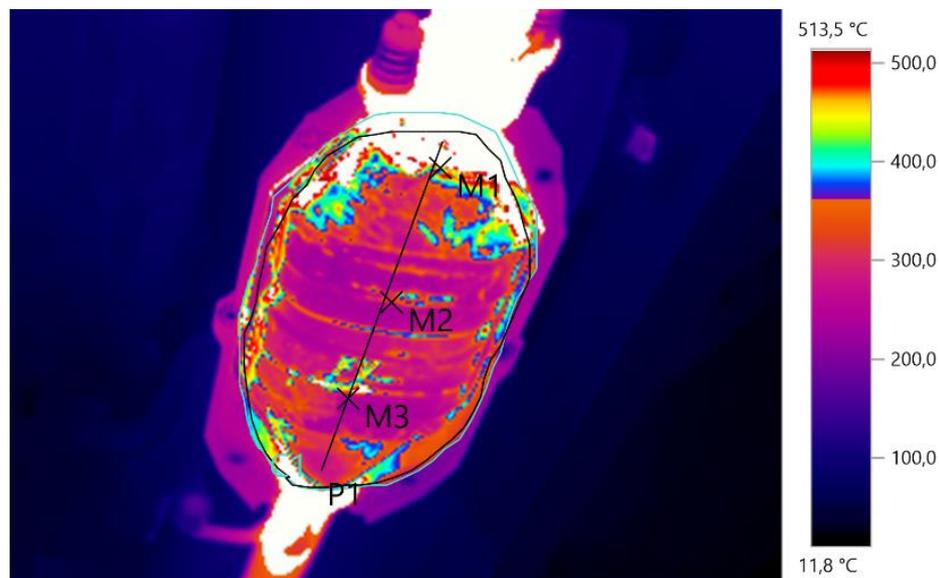
de CO₂ y la disminución de O₂ en los gases de escape a 2500 rpm también respaldan la conclusión de que la combustión es más completa a mayor velocidad del motor.

Estos resultados indican que, aunque el motor es más eficiente en términos de combustión a 2500 rpm, hay un aumento en las emisiones de CO, lo cual es un aspecto negativo desde el punto de vista ambiental. Para una operación más limpia, sería necesario optimizar la combustión para reducir las emisiones de CO a altas revoluciones. En general, la mezcla E75 parece promover una combustión más completa, como se observa en las emisiones de CO₂ y O₂.

3.22 Análisis termográfico E100 (100% Etanol)

Figura 3.14

Imagen térmica del catalizador – E100



Nota: En la imagen se observan las temperaturas alcanzadas por el catalizador en los tres puntos de medición con la mezcla E100.

Los datos proporcionados indican las temperaturas medidas en tres puntos específicos del catalizador utilizando una mezcla de E100 (100% etanol).

En el Punto de Medición M1, la temperatura alcanza los 510,4 °C, en el Punto de Medición M2 es de 368,3 °C y en el Punto de Medición M3 es de 316,5 °C. Estas temperaturas son más altas en comparación con las registradas usando una mezcla de E75, lo que sugiere que el uso de etanol puro genera una combustión más intensa y eficiente.

El aumento significativo de la temperatura en M1, en comparación con las mezclas anteriores, indica una mayor liberación de energía en la entrada del catalizador. Sin embargo, es crucial monitorear estas temperaturas para evitar posibles daños por sobrecalentamiento.

La disminución gradual de la temperatura en M2 y M3 sigue el patrón esperado de disipación de calor a medida que los gases de escape avanzan a través del catalizador, asegurando que el sistema opera dentro de parámetros seguros.

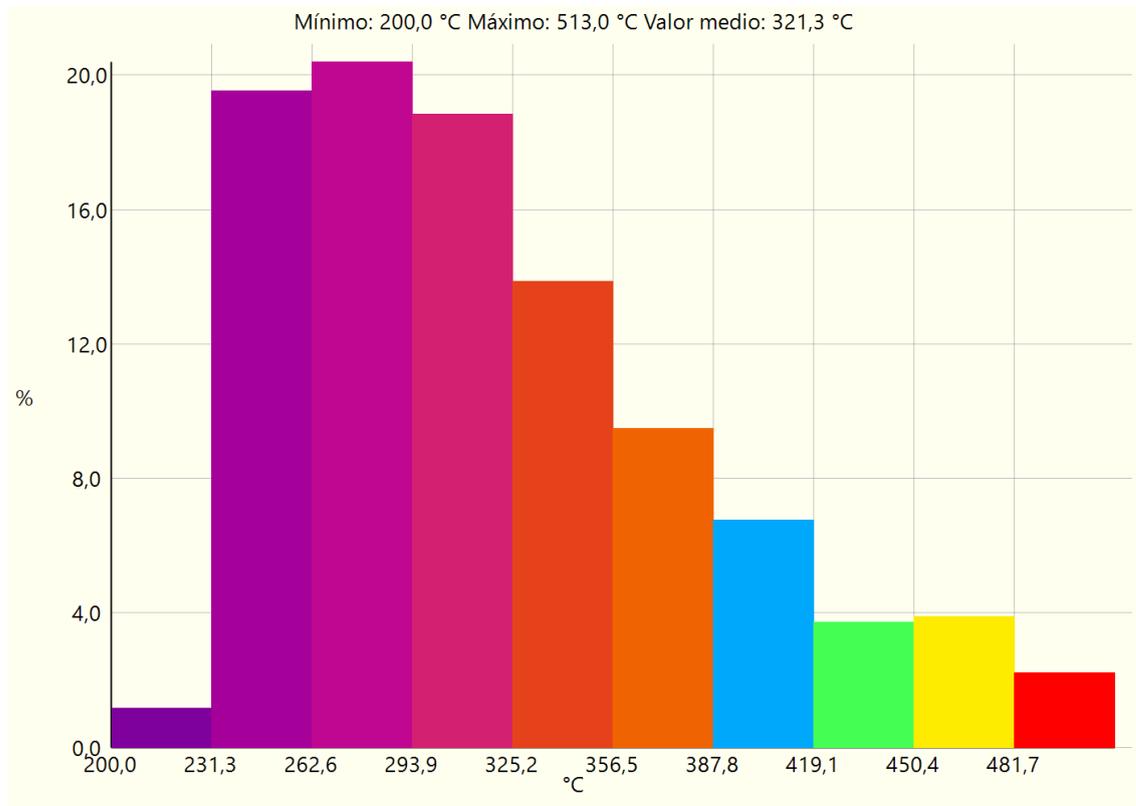
3.23 Histograma de temperaturas de catalizador – E100

A continuación, se presenta el histograma de la frecuencia de las temperaturas alcanzadas por el catalizador, mientras el motor del vehículo trabaja con una mezcla conformada por una totalidad de etanol (100%).

Este histograma de temperaturas nos proporciona una visión detallada de la distribución térmica dentro del catalizador

Figura 3.15

Histograma de temperaturas - E100



Nota: El histograma representa las temperaturas dentro del área seleccionada para la mezcla E100 en el software de análisis.

El histograma revela que la mayor concentración de datos se encuentra en el rango de 219.1°C a 336.8°C, con un pico de ocurrencia alrededor de los 248.5°C.

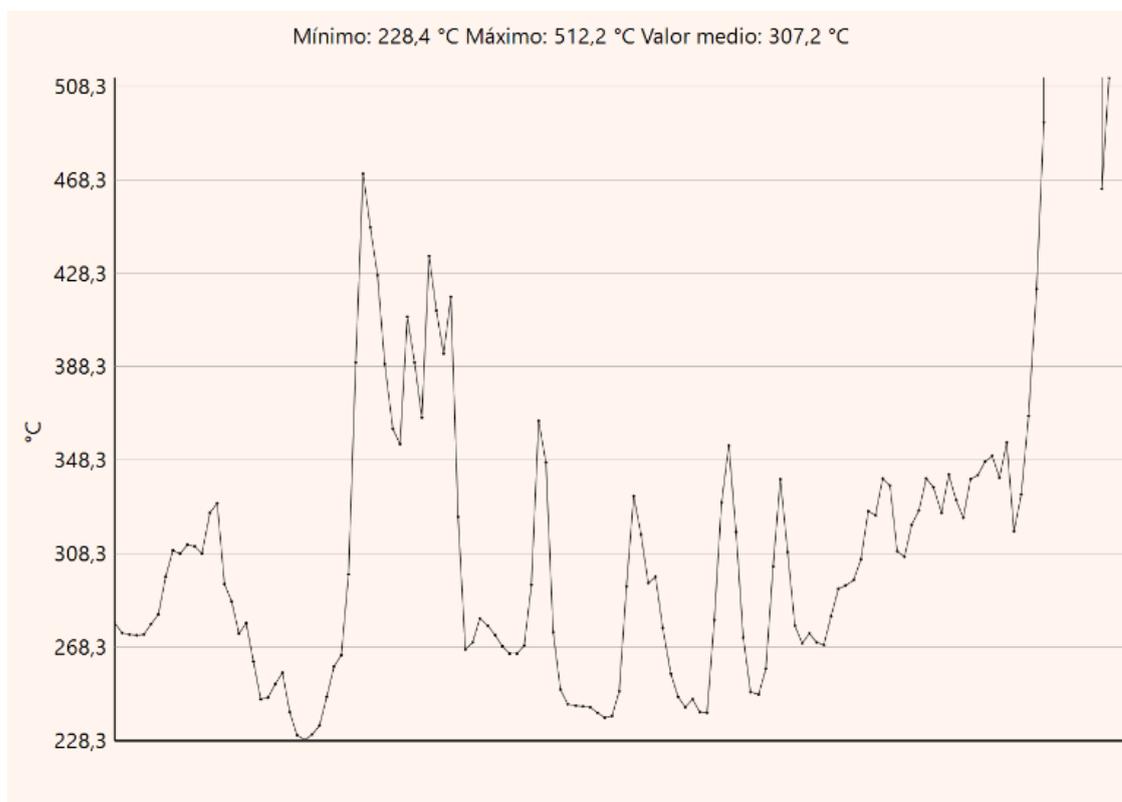
A medida que la temperatura aumenta, la frecuencia de ocurrencia disminuye gradualmente, mostrando una distribución asimétrica hacia la derecha.

Esto sugiere que las temperaturas más altas son menos frecuentes en comparación con las temperaturas más bajas en el conjunto de datos analizado.

3.24 Perfil de temperaturas en software E100

Figura 3.16

Perfil de temperaturas E100



Nota: Imagen proveniente del software de análisis que enmarca el perfil de las temperaturas alcanzadas del catalizador con la mezcla E100.

Para una mezcla E100, es decir, 100% etanol, las temperaturas registradas presentan un comportamiento notablemente diferente en comparación con las mezclas con menor contenido de etanol. La temperatura máxima alcanzada es de 512 °C, la mínima es de 228 °C, y la temperatura media es de 307 °C.

El perfil de temperatura para la mezcla E100 muestra un incremento considerable en todos los valores de temperatura en comparación con las mezclas de E0, E25, E50 y E75. La temperatura mínima de 228 °C indica que el sistema opera a temperaturas elevadas incluso en

sus puntos más bajos, lo cual es consistente con la mayor eficiencia de combustión del etanol puro, debido a su alto contenido de oxígeno.

3.25 Análisis de gases con mezcla E100

Tabla 3.6

Emisiones contaminantes - E100

Emisiones contaminantes	E100 ralentí 800 rpm	E100 2500 rpm
CO [%]	0,01	0,01
HC [ppm]	21	19
CO2 [%]	10,53	10,97
O2 [%]	6,40	5,81

Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el analizador de gases cuando el vehículo trabaja con una mezcla de E100.

El análisis de las emisiones contaminantes de un motor utilizando una mezcla de E100 (100% etanol) revela una combustión extremadamente eficiente y limpia. En ambas condiciones de operación, ralentí y 2500 rpm, las emisiones de monóxido de carbono (CO) se mantienen en un nivel muy bajo de 0,01g, indicando una combustión casi completa sin generar gases tóxicos. Esto es una ventaja significativa del uso de etanol puro como combustible.

Las emisiones de hidrocarburos (HC) también son bajas, con 21 ppm en ralentí y 19 ppm a 2500 rpm, mostrando una ligera disminución al aumentar las revoluciones del motor. Esta reducción sugiere una combustión más completa a mayor velocidad, aunque la diferencia es mínima. Los HC, siendo productos de combustión incompleta, son una señal importante de eficiencia, y su baja concentración confirma la eficacia del etanol en la reducción de contaminantes.

El dióxido de carbono (CO₂), un producto de la combustión completa del etanol muestra niveles altos de 10,53g en ralentí y 10,97g a 2500 rpm. El aumento de CO₂ con la velocidad del motor indica una combustión más eficiente y completa a mayor velocidad. Este patrón es complementado por la disminución de oxígeno (O₂) en los gases de escape, de 6,40g en ralentí a 5,81g a 2500 rpm, sugiriendo que más oxígeno se está utilizando para la combustión, mejorando la eficiencia.

3.26 Comparación de emisiones en función de las mezclas de etanol

Este estudio examina el impacto de las proporciones de etanol permitidas en la gasolina sobre las emisiones vehiculares, utilizando los métodos de prueba y las directrices establecidas en la normativa. El objetivo es proporcionar una comprensión detallada de cómo las mezclas de etanol contribuyen a la reducción de emisiones y al cumplimiento de los estándares ambientales en Ecuador, garantizando que los vehículos operen de manera más limpia y eficiente.

La normativa NTE-INEN 2204 define los métodos para la medición de emisiones y establece los criterios de calidad del aire que deben cumplirse. Esta normativa abarca las especificaciones técnicas para la concentración de etanol en los combustibles y detalla los procedimientos para la evaluación de emisiones, que sirvió para realizar el análisis de emisiones contaminantes.

3.27 Hidrocarburos no combustionados – HC

En el contexto actual de la búsqueda de combustibles más sostenibles y menos contaminantes, el etanol ha emergido como una alternativa prometedora a los combustibles fósiles tradicionales.

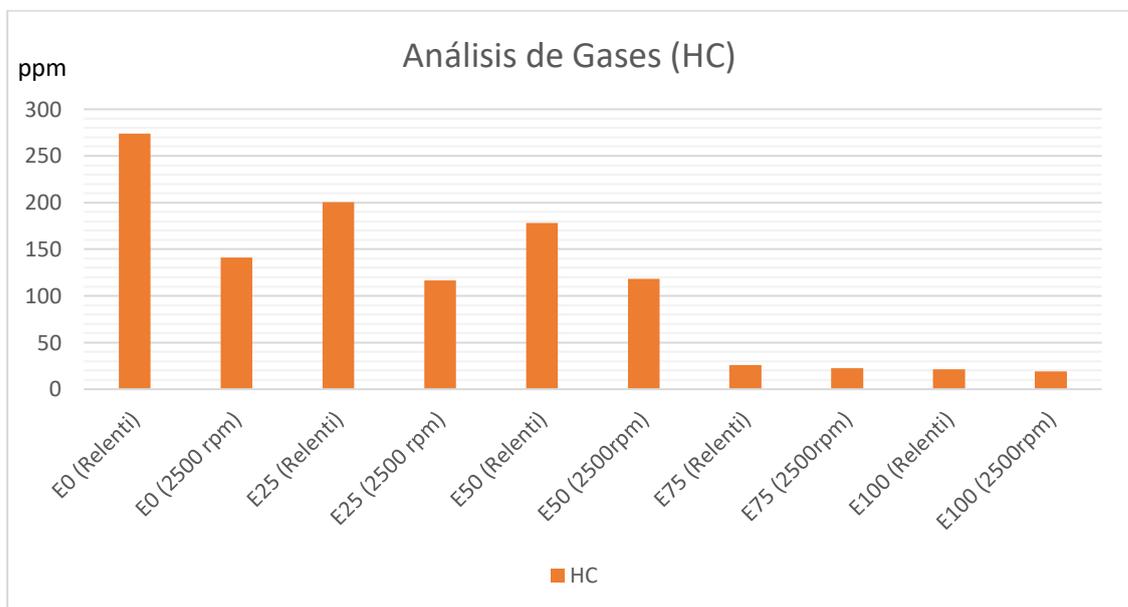
La mezcla de etanol con gasolina no solo busca reducir la dependencia de los hidrocarburos convencionales, sino también mitigar las emisiones de contaminantes atmosféricos, incluidos los hidrocarburos no combustionados (HC).

Este análisis se centra en la evaluación comparativa de las emisiones de HC en vehículos que utilizan diferentes mezclas de etanol, explorando cómo estas combinaciones afectan el perfil de emisiones y contribuyen a la calidad del aire y al medio ambiente en general.

A continuación, se presenta una gráfica que nos evidencia una comparación entre las emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) en las distintas mezclas de combustible-etanol, realizando mediciones en ralentí y a 2500 rpm.

Figura 3.17

Comparación emisiones de HC

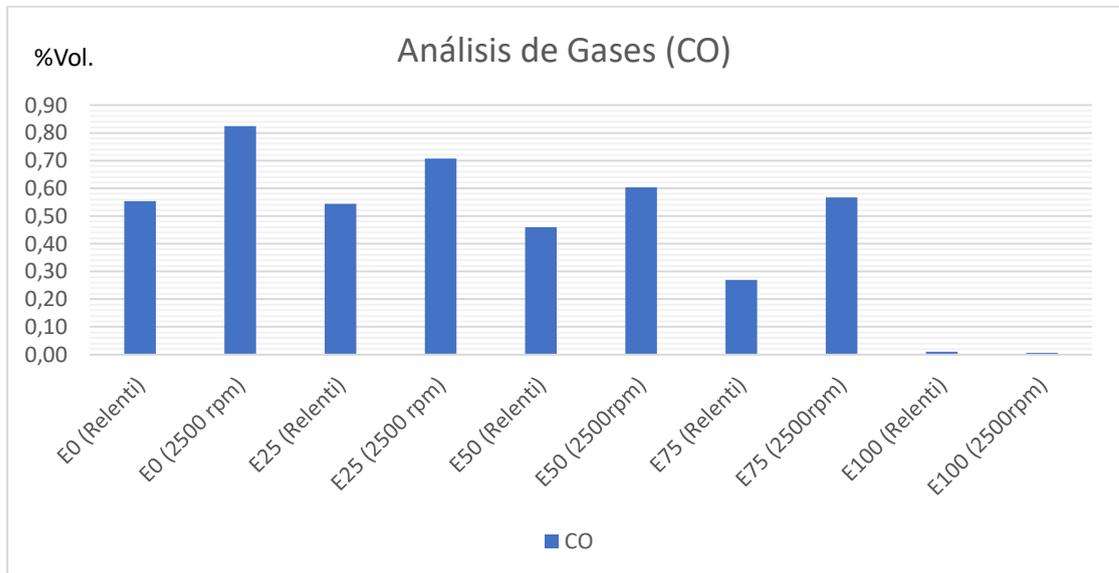


Nota: Gráfico estadístico que representa las emisiones de HC con las diferentes mezclas de combustible-etanol.

3.28 Monóxido de carbono (CO)

Figura 3.18

Comparación emisiones de CO



Nota: Gráfico estadístico que representa las emisiones de CO con las diferentes mezclas de combustible-etanol.

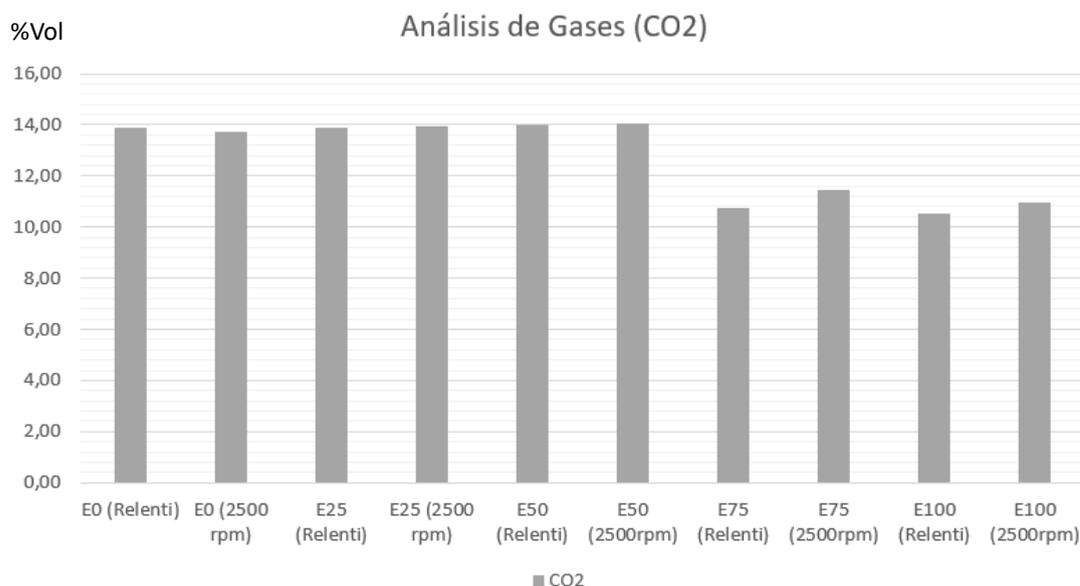
En el Gráfico estadístico podemos evidenciar lo siguiente:

- Reducción progresiva de CO: Se observa una clara tendencia de reducción en las emisiones de CO a medida que se incrementa el porcentaje de etanol en la mezcla de combustible.
- Impacto significativo a altas revoluciones: Las diferencias en las emisiones de CO entre las diferentes mezclas son más notorias a altas revoluciones (2500 rpm), donde se destaca la eficiencia del E100 con emisiones mínimas (0.01).

3.29 Dióxido de carbono – CO2

Figura 3.19

Comparación emisiones de CO2



Nota: Gráfico estadístico que representa las emisiones de CO2 con las diferentes mezclas de combustible-etanol.

Los datos de emisiones de dióxido de carbono (CO2) muestran variaciones mínimas a través de diferentes mezclas de etanol en combustible. En general, se observa una ligera tendencia a la reducción de las emisiones de CO2 con el incremento del contenido de etanol, especialmente notable en las mezclas E75 y E100, que registran los valores más bajos tanto a ralenti (10.73 y 10.53, respectivamente) como a 2500 rpm (11.47 y 10.97, respectivamente). Por otro lado, las mezclas con menor contenido de etanol (E0, E25, E50) muestran niveles ligeramente más altos de CO2, aunque las diferencias son bastante modestas.

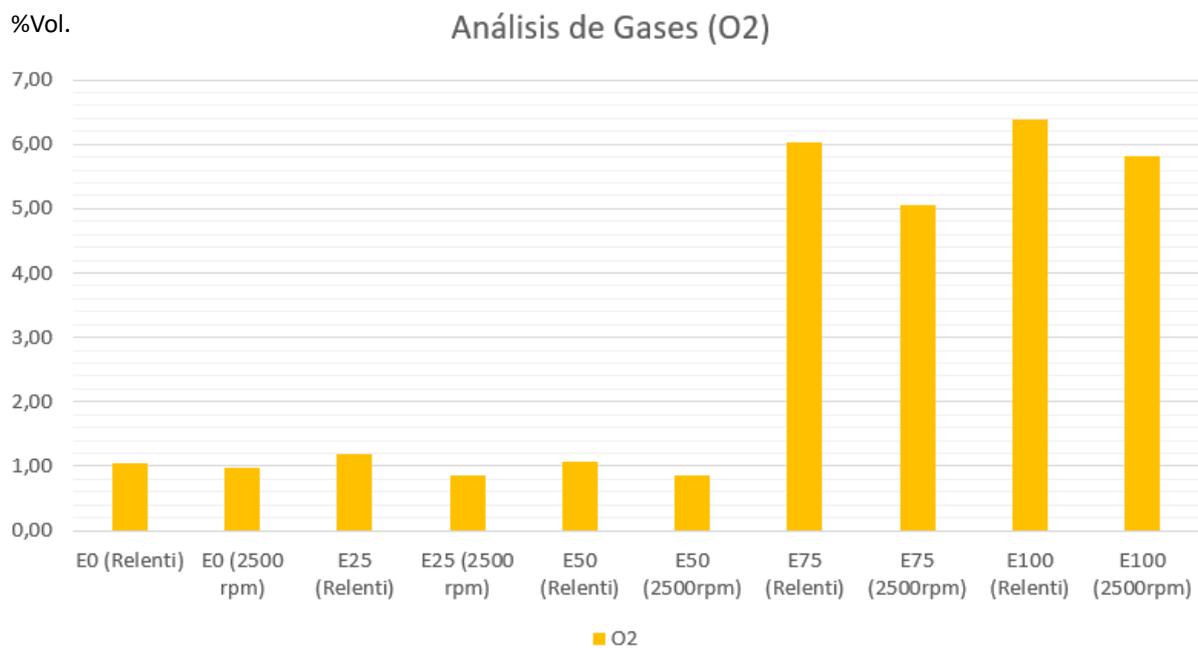
Es importante destacar que, a diferencia de las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no combustionados (HC), donde las mezclas con más etanol mostraron reducciones significativas, el impacto en las emisiones de CO2 es menos pronunciado. Esto

indica que, mientras que el etanol puede contribuir a una mejora en la eficiencia de combustión y reducción de contaminantes locales como CO y HC, su efecto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂ es limitado. (Vidal J & Semiglia W, 2024)

3.30 Oxígeno – O₂

Figura 3.20

Comparación de emisiones - O₂



Nota: Gráfico estadístico que representa las emisiones de O₂ con las diferentes mezclas de combustible-etanol.

El aumento considerable de los niveles de O₂ en las emisiones contaminantes durante las pruebas con E75 y E100 puede atribuirse a una combinación de factores, incluyendo la distinta relación estequiométrica del etanol, el contenido de oxígeno intrínseco del etanol, la eficiencia de combustión, y la calibración del sistema de control del motor.

Estos factores interactúan de manera que, en concentraciones altas de etanol, resulta en una mayor presencia de oxígeno libre en los gases de escape, reflejando la complejidad de gestionar combustibles alternativos en motores diseñados originalmente para gasolina.

3.31 Análisis de varianza (ANOVA)

Es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Esta técnica es útil cuando se quiere analizar el impacto de una o más variables independientes en una variable dependiente continua.

Se realiza un análisis ANOVA en el software Matlab con la finalidad de verificar si las diferentes condiciones de las mezclas tienen un impacto significativamente estadístico en la variable principal temperatura. A continuación, se presentan las temperaturas utilizadas para el análisis ANOVA de cada mezcla de etanol-combustible.

Figura 3.21

Temperaturas referenciales de cada mezcla etanol-combustible.

```
% Datos de temperatura para cada mezcla de etanol
temp_E0 = [301.6, 186.1, 140];
temp_E25 = [363.4, 195.9, 175.4];
temp_E50 = [428.3, 237.2, 219.1];
temp_E75 = [489.1, 343.4, 322.4];
temp_E100 = [510.4, 368.3, 316.5];
```

Nota: Grupo de temperaturas en los tres puntos de medición en el catalizador para cada mezcla de etanol-combustible.

Luego de realizar el análisis ANOVA en el software Matlab obtenemos los siguientes resultados:

Figura 3.22

Tabla de resultados ANOVA

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	83980	4	20994.99	2.13	0.1517
Error	98647.7	10	9864.77		
Total	182627.7	14			

Nota: *Resultados del análisis ANOVA realizado en el software Matlab.*

Los resultados del ANOVA sugieren que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos en el nivel de significancia de 0.05. Esto significa que, según los datos analizados, las diferentes condiciones o tratamientos (los diferentes grupos) no tienen un impacto estadísticamente significativo en la variable dependiente (en este caso, la temperatura).

Aunque el ANOVA no muestra diferencias significativas entre las medias de temperatura para los diferentes porcentajes de etanol, eso no necesariamente invalida la observación de que la temperatura aumenta con el porcentaje de etanol.

Puede ser necesario realizar análisis adicionales o revisar el diseño del estudio para obtener una comprensión más clara de la relación entre las variables.

CONCLUSIONES

- El catalizador Euro 4 en un vehículo normalmente opera dentro de un rango de temperatura que varía entre aproximadamente 200°C y 600°C, dependiendo de las condiciones de conducción y la carga del motor.
- Temperaturas excesivamente altas pueden llevar a la desactivación del catalizador. Esto ocurre cuando el calor excesivo provoca la sinterización de los metales preciosos (platino, paladio y rodio) en el catalizador, reduciendo su superficie activa y, por lo tanto, su capacidad para catalizar las reacciones químicas necesarias para convertir contaminantes como el CO, NOx y HC en gases menos nocivos.
- Las temperaturas extremadamente altas pueden causar daños físicos al catalizador, como la fusión o deformación de sus componentes internos. Los materiales cerámicos pueden agrietarse o derretirse, y los componentes metálicos pueden deformarse. Estos daños comprometen la integridad estructural del catalizador, reduciendo su eficacia y vida útil.
- En las emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) para las pruebas de E75 y E100 se reducen hasta en un 80%.
- En la mezcla E100 existe una reducción mayor al 85% de las emisiones contaminantes de monóxido de carbono (CO).
- Al momento de utilizar la mezcla E 75 y E100 existe una reducción considerable de en las emisiones de dióxidos de carbono (CO₂).
- El notable aumento en los niveles de O₂ para E75 y E100 puede ser indicativo de una combustión menos eficiente o de una mezcla aire-combustible subóptima en estas condiciones.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar el rendimiento y la durabilidad del catalizador Euro 4, es esencial monitorear y controlar su temperatura de operación. La instalación de sensores de temperatura y sistemas de enfriamiento adicionales puede prevenir la sinterización de los metales preciosos, que ocurre a temperaturas excesivamente altas, protegiendo así la capacidad catalítica del dispositivo.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo es fundamental. Esto incluye revisiones periódicas del catalizador para detectar y corregir cualquier daño físico, como agrietamientos o deformaciones, garantizando así su eficacia a largo plazo. También se recomienda investigar aditivos de combustible que mejoren la combustión y considerar tecnologías adicionales de reducción de emisiones.
- Promover prácticas de conducción que minimicen las condiciones de alta carga y temperatura, contribuirá significativamente a la mejora del rendimiento del catalizador y a la reducción de emisiones contaminantes.
- Optimizar la mezcla aire-combustible es crucial para evitar combustiones ineficientes y minimizar las emisiones de oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Alessia Pigna. (2018). *Catalizador: pieza clave de un vehículo*.
- Alfredo Osornio-Rios, R., Antonino-Daviu, J. A., & De Jesus Romero-Troncoso, R. (2019a). Recent industrial applications of infrared thermography: A review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(2), 615–625. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2884738>
- Alfredo Osornio-Rios, R., Antonino-Daviu, J. A., & De Jesus Romero-Troncoso, R. (2019b). Recent industrial applications of infrared thermography: A review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(2), 615–625. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2884738>
- ANÁLISIS TERMOGRÁFICO. HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. (n.d.). www.juanpalacios.es
- Brinklow, G., Herreros, J. M., Rezaei, S. Z., Omid, D., Athanasios, T., Millington, P., & Kolpin, A. (2023). Impact of Cylinder Deactivation Strategies on Three-way Catalyst Performance in High Efficiency Low Emissions Engines. *Chemical Engineering Journal Advances*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100481>
- Cuadrado, A., Mauricio, A., Almachi, S., Carátula, E. D., Quiroz Erazo, I., & Msc, L. A. (n.d.). *Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes*.
- Fabricio, S. A., & Molina, E. E. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR CICLO OTTO DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA RESPECTO AL GRADO DE CONCENTRACIÓN DEL ETANOL EN LA GASOLINA EXTRA PARA LA CIUDAD DE CUENCA TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN*.
- Oceana. (2020). *Fuentes de emisión de gases contaminantes*.
- ONU. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- T-UIDE-1990. (n.d.).
- Velepucha-Sánchez, J. M., & Sabando-Piguabe, L. F. (2021). Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 78–95. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0024>
- Vidal J, & Semiglia W. (2024). *I UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*.

