



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DEL TORQUE Y GASES CONTAMINANTES EN UNA MOTOCICLETA
MONOCILINDRICA DE 150 CC MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MINI
CONVERTIDOR CATALÍTICO

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

AUTORES: JAROD FRANCESCO ARMIJOS ORDOÑEZ
JUSTIN RAFAEL CAJAMARCA UZHCA
TUTOR: ING. CHRISTIAN OMAR PULLA MOROCHO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

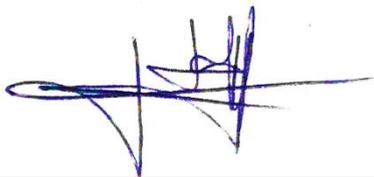
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Jarod Francesco Armijos Ordoñez con documento de identificación N° 0705997799 y Justin Rafael Cajamarca Uzhca con documento de identificación N° 0302473343; 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, 22 de enero del 2025

Atentamente,



Jarod Francesco Armijos Ordoñez

0705997799



Justin Rafael Cajamarca Uzhca

0302473343

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

Nosotros, Jarod Francesco Armijos Ordoñez con documento de identificación N° 0705997799 y Justin Rafael Cajamarca Uzhca con documento de identificación N° 0302473343, 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 del torque y gases contaminantes en una motocicleta monocilíndrica de 150 CC mediante la implementación de un mini convertidor catalítico”, 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, 22 de enero del 2025

Atentamente,

Jarod Francesco Armijos Ordoñez

0705997799

Justin Rafael Cajamarca Uzhca

0302473343

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 DEL TORQUE Y GASES CONTAMINANTES EN UNA MOTOCICLETA MONOCILINDRICA DE 150 CC MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MINI CONVERTIDOR CATALÍTICO, realizado por Jarod Francesco Armijos Ordoñez con documento de identificación N° 0705997799 y por Justin Rafael Cajamarca Uzhca con documento de identificación N° 0302473343, 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, 22 de enero del 2025

Atentamente,



Ing. Christian Omar Pulla Morocho, MSc.

0103570602

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado con todo mi amor, gratitud y admiración a mis padres, José Bolívar Armijos Pérez y Carmen Verónica Ordoñez Morales, y mi abuela, Francisca Graciela Morales, quienes han sido mi mayor fortaleza y fuente de inspiración a lo largo de este camino. A ustedes, que siempre han creído en mí; que han dedicado innumerables horas de esfuerzo, sacrificio y paciencia para brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis sueños. Gracias por enseñarme que con dedicación, disciplina y perseverancia se pueden superar todas las adversidades. Este logro no sería posible sin el amor incondicional con el que me han guiado desde mis primeros pasos. Todo lo que soy, lo que he logrado y lo que espero alcanzar en el futuro se lo debo a ustedes. Gracias por ser el motor de mi vida y por estar a mi lado en cada paso de este recorrido. Les dedico este trabajo con todo mi corazón, como símbolo de mi eterna gratitud y de mi compromiso de hacerlos sentir siempre orgullosos.

Jarod Francesco Armijos Ordoñez

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto con todo mi cariño y gratitud a mis padres, Washington Rafael Cajamarca Sanango y Blanca Azucena Uzhca Uzhca. Gracias por creer en mí desde el principio, por su paciencia infinita y por cada sacrificio que hicieron para ayudarme a alcanzar este objetivo profesional. Sin su amor y apoyo, superar las adversidades habría sido imposible, y este logro no habría sido una realidad. Extiendo también esta dedicatoria a mis padrinos, Digna Sanango y Rafael Cajamarca, quienes siempre confiaron en mis capacidades y, con sus sabios consejos, me impulsaron a seguir adelante y alcanzar esta meta tan especial. A toda mi familia, tanto a quienes están cerca como a los que están lejos, les agradezco de corazón por su atención, sus ánimos y esas palabras de aliento que me acompañaron en cada etapa de mi carrera. Este trabajo es mi manera de rendir homenaje al amor, sacrificio y esfuerzo que cada uno de ustedes ha puesto para que yo pueda estar aquí hoy.

Justin Rafael Cajamarca Uzhca

AGRADECIMIENTO

Con todo mi amor y gratitud, dedico este proyecto a mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental y mi mayor inspiración. Este logro es reflejo de su sacrificio, dedicación y amor infinito, así como de los valores y enseñanzas que me inculcaron.

Gracias por ser mi guía, mi fuerza y mi apoyo en cada desafío. Su ejemplo de perseverancia y trabajo incansable me ha impulsado a alcanzar esta meta, que ahora comparto con ustedes como un homenaje a su confianza y fe en mí.

Este proyecto es un tributo a su amor y un agradecimiento eterno por todo lo que han hecho por mí.

Jarod Francesco Armijos Ordoñez

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo a Dios, quien me dio el conocimiento y la fortaleza necesarias para superar cada desafío que se presentó a lo largo de mi carrera. Su guía constante fue una luz en mi camino. Agradezco profundamente a mis padres por su infinita paciencia y por haberme brindado el regalo más valioso: el aprendizaje. Su apoyo incondicional siempre fue mi mayor motivación. También quiero dedicar un especial agradecimiento a mi querida mascota, quien me acompañó en cada etapa de mi vida universitaria. Este logro que antes era un anhelo se convirtió en una meta alcanzada.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud al Ingeniero Christian Pulla director de nuestro trabajo de titulación, por depositar su confianza en nosotros y al Ingeniero Néstor Rivera por su apoyo en la realización del proyecto.

Finalmente, a todos mis compañeros que colaboraron y contribuyeron a este logro, y a esa persona especial que supo comprenderme y apoyarme durante este recorrido (N).

Justin Rafael Cajamarca Uzhca

RESUMEN

Este proyecto da a conocer el impacto de la instalación de un mini convertidor catalítico en las emisiones contaminantes y el torque de una motocicleta Yamaha XTZ-150. El estudio consideró parámetros clave como el tipo de combustible utilizado, la marcha seleccionada y las revoluciones por minuto (RPM), evaluando tres condiciones operativas: ralentí, media carga y máxima capacidad. Las mediciones se realizaron antes y después de incorporar el mini convertidor catalítico, aplicando un enfoque metodológico respaldado por indicadores estadísticos. El primer capítulo introduce la función de los catalizadores, su evolución a lo largo del tiempo y las reacciones químicas que ocurren en su interior. También se presentan las normativas vigentes que regulan las emisiones vehiculares. Posteriormente, se describe el diseño metodológico utilizado en la investigación, detallando las etapas del experimento, las definiciones clave y el software empleado. El experimento incluyó la recopilación de datos antes y después de la instalación del mini convertidor catalítico, empleando equipos especializados como un analizador de gases y un banco dinamométrico para garantizar mediciones precisas y confiables. Los datos obtenidos se procesaron y analizaron estadísticamente con el software Minitab. En el tercer capítulo, se presentan los resultados mediante gráficos de residuos, interacciones y efectos principales de las variables de respuesta. Los análisis incluyeron mediciones de CO, CO₂, HC, NO_x, O₂, potencia, fuerza y torque. Como resultado, se observó una reducción significativa en las emisiones contaminantes, contribuyendo a la protección del medio ambiente. Sin embargo, también se detectó una ligera disminución en el torque de la motocicleta.

Palabras claves: *Diseño metodológico, Mini convertidor catalítico, Emisiones, Torque, Software Minitab*

ABSTRAC

This project presents the impact of installing a mini catalytic converter on the pollutant emissions and torque of a Yamaha XTZ-150 motorcycle. The study considered key parameters such as the type of fuel used, the selected gear, and the revolutions per minute (RPM), evaluating three operational conditions: idle, partial load, and maximum capacity. Measurements were conducted both before and after incorporating the mini catalytic converter, applying a methodological approach supported by statistical indicators. The first chapter introduces the function of catalytic converters, their evolution over time, and the chemical reactions that occur within them. It also presents the current regulations governing vehicle emissions. Subsequently, the methodological design used in the research is described, detailing the experimental stages, key definitions, and the software employed. The experiment included data collection before and after the installation of the mini catalytic converter, utilizing specialized equipment such as a gas analyzer and a dynamometer to ensure accurate and reliable measurements. The data obtained were statistically processed and analyzed using Minitab software. In the third chapter, the results are presented through residual plots, interaction graphs, and main effects of the response variables. The analyses included measurements of CO, CO₂, HC, NO_x, O₂, power, force, and torque. The findings revealed a significant reduction in pollutant emissions, contributing to environmental protection. However, a slight decrease in the motorcycle's torque was also observed.

Keywords: Methodological design, Mini catalytic converter, Emissions, Torque, Minitab software.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	- 2 -
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	- 3 -
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	- 4 -
DEDICATORIA.....	- 5 -
DEDICATORIA.....	- 6 -
AGRADECIMIENTO	- 7 -
AGRADECIMIENTO	- 8 -
RESUMEN	- 9 -
ABSTRAC	- 10 -
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
ÍNDICE DE ANEXOS.....	8
INTRODUCCIÓN	9
PROBLEMA.....	10
ANTECEDENTES.	10
IMPORTANCIA Y ALCANCES	11
DELIMITACIÓN.....	11
OBJETIVOS	13
Objetivo general	13
Objetivos Específicos.....	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE	13
1.1. Historia de los convertidores catalíticos.....	13
1.2. Evolución de los convertidores catalíticos	14
1.3. Estructura de un convertidor catalítico.....	16
1.4. Funcionamiento del convertidor catalítico.....	17
1.4.1. Entrada de Gases de Escape:.....	17
1.4.2. Estructura Interna:.....	17
1.5. Emisiones contaminantes	18
1.5.1. Monóxido de carbono	18

1.5.2.	Hidrocarburos	19
1.5.3.	Óxido de nitrógeno	19
1.6.	Procesos químicos en el convertidor catalítico	20
1.7.	Tipos de convertidores catalíticos:	22
1.8.	Características importantes del convertidor catalítico	24
1.9.	Analizador de gases.....	26
1.10.	Efectos de las emisiones contaminantes en la salud humana	26
1.11.	Definición y tipo de motores (2T y 4T).....	27
1.11.1.	Motor de 4 tiempos	28
1.12.	Relevancia del torque en el rendimiento del motor	29
1.13.	Régimen de revoluciones por minuto (RPM).....	29
1.14.	Definición de potencia y torque.....	29
1.15.	Sistema de Escape	30
1.16.	Revisión técnica vehículas.....	31
1.17.	Normativa de emisiones contaminantes vehiculares	31
1.18.	Normativas Europeas.....	33
1.19.	Normativa Estadounidense (EPA y CARB)	34
1.20.	Normativas Japonesas (J-LEV, SU-LEV).....	34
1.21.	Normativas para la Construcción de Catalizadores	35
1.22.	Normativas Específicas para Catalizadores.....	35
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION Y DISEÑO EXPERIEMTNAL		36
2.1.	Selección de vehículo de prueba	37
2.2.	Especificaciones técnicas del vehículo seleccionado	37
2.3.	Mantenimiento general del vehículo	38
2.4.	Inspección visual del vehículo	39
2.5.	Desarrollo de la metodología de investigación	40
2.5.1.	Experimentos factoriales.....	40
2.5.2.	Diseño experimental	40
2.5.3.	Elementos del diseño experimental	41
2.6.	Etapas del diseño experimental	42
2.6.1.	Planteamiento.....	42
2.6.2.	Organizar el trabajo experimental.....	43
2.6.3.	Realización del experimento.....	43

2.6.4.	Análisis	43
2.6.5.	Interpretación	43
2.7.	Categorización y elección de diseños experimentales	44
2.8.	Aplicaciones de la estadística.....	44
2.8.1.	Utilizar experimentos progresivos	44
2.8.2.	Uso de softwares estadísticos.....	45
2.9.	Método utilizado	45
2.9.1.	Diseño Experimental Box Behnken.....	45
2.9.2.	Características claves del diseño experimental Box Behnken.....	46
2.10.	Proceso aplicado en la toma de datos de emisiones y torque	47
2.10.1.	Planteamiento de la hipótesis	47
2.10.2.	Selección de variables independientes	47
2.10.3.	Tratamientos	47
2.10.4.	Variables de entrada	49
2.10.5.	Variables de respuesta	49
2.10.6.	Variables de bloqueo	49
2.10.7.	Mezcla de combustible.....	50
2.10.8.	Especificación del mini convertidor catalítico	51
2.10.9.	Parámetros para la obtención de datos	52
2.10.10.	Preparación del área de trabajo	52
2.10.11.	Materiales Necesarios	52
2.11.	Procedimiento de las Pruebas	53
2.12.	Establecer la velocidad en función de la marcha.....	54
2.13.	Obtención de datos	55
2.14.	Instalación del mini convertidor catalítico en la motocicleta	57
2.15.	Obtención de datos post instalación del mini convertidor catalítico	58
2.16.	Determinación del torque	60
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS		61
3.1.	Evaluación de las características más relevantes	61
3.1.1.	Análisis de residuos	61
3.1.2.	Análisis de efectos principales.....	62
3.1.3.	Análisis de interacciones.....	62
3.2.	Análisis de las características destacadas.....	62

3.3. Análisis de Interacciones.....	71
3.4. Análisis de efectos principales	79
3.5. Optimización de máxima potencia, fuerza, y torque.....	85
3.6. Optimización de mínimas emisiones de CO, NOx, y HC	86
3.7. Análisis del torque.....	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación geográfica del proyecto técnico.....	12
Figura 2 Dispersion del convertidor catalítico.....	15
Figura 3 Mini convertidor catalítico	16
Figura 4 Componentes del catalizador.....	18
Figura 5 Reacciones químicas del convertidor catalítico	22
Figura 6 Convertidores catalíticos de dos vías	22
Figura 7 Convertidores catalíticos de tres vías	23
Figura 8 Rendimiento de un convertidor catalítico	24
Figura 9 Emisiones de CO, HC, y NOx.....	25
Figura 10 Motor de dos tiempos	27
Figura 11 Motor de 4 tiempos.....	28
Figura 12 Sistema de escape.....	31
Figura 13 Flujiograma de la metodología utilizada para la adquisición de datos	36
Figura 14 Motocicleta Yamaha XTZ-150.....	37
Figura 15 Variables de entrada y de salida	40
Figura 16 Factores que interviene en la unidad experimental	42

Figura 17 Variables del proceso.....	47
Figura 18 Variables de bloqueo	50
Figura 19 Probeta de 250 ml.....	51
Figura 20 Colocación de la motocicleta en el banco dinamométrico	53
Figura 21 Temperatura de funcionamiento del motor.....	56
Figura 22 Adaptacion del mini convertidor catalítico	58
Figura 23 Temperatura de funcionamiento del mini convertidor catalítico	59
Figura 24 Gráfica de residuos para el monóxido de carbono	63
Figura 25 Gráfica de residuos para el dióxido de carbono	64
Figura 26 Gráfica de residuos para el oxígeno	65
Figura 27 Gráfica de residuos para los hidrocarburos no combustionados	66
Figura 28 Gráfica de residuos para los óxidos nitrosos	67
Figura 29 Gráfica de residuos para la potencia.....	68
Figura 30 Gráfica de residuos para la fuerza	69
Figura 31 Gráfica de residuos para el torque.....	70
Figura 32 Gráfica de interacciones para el monóxido de carbono	71
Figura 33 Gráfica de interacciones para el dióxido de carbono	72
Figura 34 Gráfica de interacciones para el oxígeno	73
Figura 35 Gráfica de interacciones para los hidrocarburos no combustionados	74
Figura 36 Gráfica de interacciones para los óxidos nitrosos	75
Figura 37 Gráfica de interacciones para la potencia.....	76
Figura 38 Gráfica de interacciones para la fuerza	77
Figura 39 Gráfica de interacciones para el torque.....	78
Figura 40 Gráfica de efectos principales para el monóxido de carbono.....	79
Figura 41 Gráfica de efectos principales para el dióxido de carbono.....	80

Figura 42 Gráfica de efectos principales para el oxígeno.....	81
Figura 43 Gráfica de efectos principales para los hidrocarburos no combustionados.....	81
Figura 44 Gráfica de efectos principales para los óxidos nitrosos	82
Figura 45 Gráfica de efectos principales para la potencia	83
Figura 46 Gráfica de efectos principales para la fuerza.....	84
Figura 47 Gráfica de efectos principales para el torque	85
Figura 48 Optimización para la fuerza, potencia y torque.....	86
Figura 49 Optimización para minimizar los CO, NOX, HC	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Efectos de los gases producidos por la combustion en la salud.....	26
Tabla 2 Relevancia del torque	29
Tabla 3 Valores de emisiones según la normativa RTE INEN 136 (R1).....	32
Tabla 4 Valores de emisiones para motocicletas. Ciclo ECE R-40	32
Tabla 5 Valores de emisiones para motocicletas. Ciclo FTP-75	33
Tabla 6 Regulaciones de las emisiones de la normativa	33
Tabla 7 Características de la motocicleta	38
Tabla 8 Inspección visual del vehículo	39
Tabla 9 Tabla de muestras	48
Tabla 10 Variación de velocidad	54
Tabla 11 Pruebas de emisiones y potencia sin el convetidor catalítico.....	56
Tabla 12 Pruebas de emisiones y potencia con el convetidor catalítico.....	59
Tabla 13 Torque de la motocicelta de pruebas	60
Tabla 14 Análisis de la reduccion del torque	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Monóxido de carbono	19
Ecuación 2 Óxido de nitrógeno.....	19
Ecuación 3 Dióxido de nitrógeno.....	20
Ecuación 4 Óxido nitroso.....	20
Ecuación 5 Procesos químicos en el convertidor catalítico	21
Ecuación 6 Reacciones de reducción	21
Ecuación 7 Determinación de potencia.....	30
Ecuación 8 Transformación de potencia a torque	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Vehículo seleccionado para el estudio	94
Anexo 2 Instalación del mini convertidor catalítico.....	94
Anexo 3 Toma de temperatura del motor y catalizador.....	95
Anexo 4 Toma de datos de potencia, fuerza y emisiones contaminantes	96

INTRODUCCIÓN

Los convertidores catalíticos tienen una función esencial en los vehículos modernos, ya que disminuyen los gases contaminantes mediante reacciones químicas que transforman compuestos tóxicos en elementos menos dañinos. Con la implementación de catalizadores en motocicletas se puede satisfacer las regulaciones ambientales más estrictas que buscan disminuir la contaminación vehicular, dado el creciente número en circulación.

El propósito de este trabajo es evaluar cómo se modifican el torque y las emisiones de una motocicleta de 150 CC en diferentes estados operativos (ralentí, media carga y carga completa), comparando estos datos antes y después de instalar un mini convertidor catalítico. Para medir las emisiones y el torque, se utilizará un analizador de gases y el dinamómetro, los cuales nos proporcionaran información precisa para el análisis.

Este estudio es relevante, ya que integra un mini convertidor catalítico en el sistema de escape de la motocicleta, destacando los beneficios de este dispositivo para el ambiente. Con la creciente atención de la industria en disminuir las emisiones y optimizar la eficiencia, es vital entender el comportamiento de los convertidores catalíticos en motocicletas y cómo optimizarlas para minimizar su impacto ambiental.

A lo largo de la investigación, se registrarán y analizarán los resultados sobre las emisiones y el rendimiento del motor antes y después de incorporar el convertidor. Además, se examinará si este dispositivo tiene alguna influencia en el torque de la motocicleta, y con base en los resultados, se propondrán recomendaciones para enfrentar los retos de implementar estos convertidores en el sistema de escape.

PROBLEMA

Uno de los principales problemas que afecta a la sociedad es la contaminación ambiental, agravada por el incremento en el uso de motocicletas como medio de transporte en áreas urbana. (Sanchez, 2022) En diciembre de 2023 en Ecuador, se comercializaron 13.997 motocicletas, lo que contribuyó a un crecimiento acumulado del 5% en ventas intensificando aún más el impacto ambiental generado por las motocicletas. (AEADE, 2023)

La ausencia de convertidores catalíticos en muchas de estas motocicletas, contribuyen de manera notable a la liberación de gases nocivos como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). A pesar de los avances en la reducción de emisiones en automóviles, las motocicletas siguen siendo una fuente importante de contaminación. (Azam, 2022) Sin embargo, la adaptación de convertidores catalíticos en motocicletas podría reducir sustancialmente las emisiones en CO de 0.415% a 0.03%, y el HC de 241.30 ppm a 40.58 ppm obteniendo porcentajes de reducción de hasta el 70% en CO y de 87% en HC (Miranda, 2016), cumpliendo con los valores permisibles de contaminaciones según la normativa RTE INEN 136 (1R).

ANTECEDENTES.

El convertidor catalítico desempeña un papel fundamental en la reducción de emisiones, al convertir gases perjudiciales como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no combustionados en compuestos menos nocivos para el ambiente. Con la creciente conciencia ambiental, los fabricantes han comenzado a incluir convertidores catalíticos en motocicletas para reducir su impacto ambiental.

Sin embargo, el uso de catalizadores puede generar una ligera pérdida de torque debido al aumento de la restricción en el flujo de gases, la contrapresión reduce la velocidad con la que los gases salen del motor, lo cual disminuye la eficiencia con la que el motor evacua los

gases de combustión. Investigaciones realizadas en automóviles han evidenciado que la instalación de un convertidor catalítico en el sistema de escape puede reducir hasta un 70% o 80% las emisiones contaminantes, aunque este beneficio puede comprometer el rendimiento (torque) del vehículo. Para evaluar la instalación del convertidor catalítico, la medición de gases es una técnica efectiva, mientras que el uso de un dinamómetro permitirá medir las variaciones en el torque, proporcionando así datos precisos sobre el desempeño del vehículo.

IMPORTANCIA Y ALCANCES

Este estudio de investigación busca una solución viable para disminuir las emisiones contaminantes en motocicletas, contribuyendo con el potencial de influir en políticas de sostenibilidad global al demostrar la viabilidad de tecnologías catalíticas en medios de transporte ligeros, también se reforzará la necesidad de que los gobiernos establezcan regulaciones más estrictas en vehículos pequeños, fomentando prácticas de movilidad más sostenibles y saludables.

El principio es evaluar la eficacia del convertidor catalítico en la disminución de los principales gases contaminante, tales como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx). Además, se orienta a medir la diferencia en las emisiones antes y después de la implementación del convertidor, alineándose con las normativas internacionales y 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

Este estudio se realizó en los laboratorios pertenecientes a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, en su sede Cuenca. Está ubicado en la Calle Vieja 12-13 y Elia Liut en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador.

Figura 1

Delimitación geográfica del proyecto técnico



Nota: Localización y disposición de los laboratorios de Ingeniería Automotriz UPS-Cuenca. Fuente: Autores.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar del torque y gases contaminantes en una motocicleta monocilindrica de 150 CC mediante la implementación de un mini convertidor catalítico.

Objetivos Específicos

- Elaborar el estado del arte referente al efecto que tiene la implementación de convertidores catalíticos en motocicletas, mediante una investigación bibliográfica exhaustiva en el ámbito científico.
- Establecer un diseño experimental determinando el torque y los niveles de contaminación de una motocicleta mono-cilíndrica, dentro de las condiciones normales de funcionamiento en ralentí, media carga, y máxima capacidad antes y después de la instalación del mini convertidor catalítico, utilizando el analizador de gases AGS-688 y el banco dinamométrico MAHA LPS-3000.
- Analizar los datos obtenidos antes y después de la adaptación del mini convertidor catalítico mediante el uso de herramientas estadísticas con determinación de análisis de varianza (ANOVA).

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE

1.1. Historia de los convertidores catalíticos

El ingeniero francés Eugene Houdry patentó un convertidor catalítico más avanzado. Experto en el proceso de refinación catalítica del petróleo, Houdry se trasladó a Estados Unidos en los años 30 para continuar su trabajo en las refinerías de Filadelfia. Preocupado por el impacto de las emisiones de los automóviles y chimeneas en la contaminación del aire, fundó la empresa Oxy-Catalyst. Desarrolló primero convertidores para chimeneas y luego adaptó esa

tecnología para vehículos, obteniendo la patente estadounidense en 1956 (Navarro Espinosa et al., 2023).

Mientras tanto, el aumento de la preocupación por los efectos ambientales de los vehículos, comenzaron a ganar relevancia a mediados del siglo XX. Las emisiones de los motores de combustión, que incluyen gases como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos no combustionados (HC), fueron reconocidas como un factor importante en la formación de smog en las ciudades. (Navarro Espinosa et al., 2023).

Los Ángeles fueron de las primeras en experimentar graves problemas de smog, lo cual incentivó a los científicos y a las autoridades a buscar soluciones para reducir las emisiones contaminantes. (Washburn y Scott, 2019).

En 1990 se comenzó con la adaptación de los convertidores catalíticos en motocicletas, con la necesidad de cumplir con los límites establecidos para reducir las emisiones contaminantes. Durante los años 2000, se implementó los catalizadores de tres vías logrando así una reducción más completa de las emisiones contaminantes. Además, se realizaron mejoras en el diseño para hacerlos más compactos y adecuarlos a las dimensiones de las motocicletas, sin comprometer su capacidad para reducir las emisiones (Motick, 2023).

Con la normativa euro 5 se establecieron límites de emisiones mucho más rigurosas, lo que impulso a los fabricantes a desarrollar catalizadores más sofisticados y eficientes, algunos modelos recientes incluyen sistemas de calentamiento rápido que activa la catalización de inmediato al arrancar el motor reduciendo así las emisiones en los primeros minutos de funcionamiento (Motick, 2023).

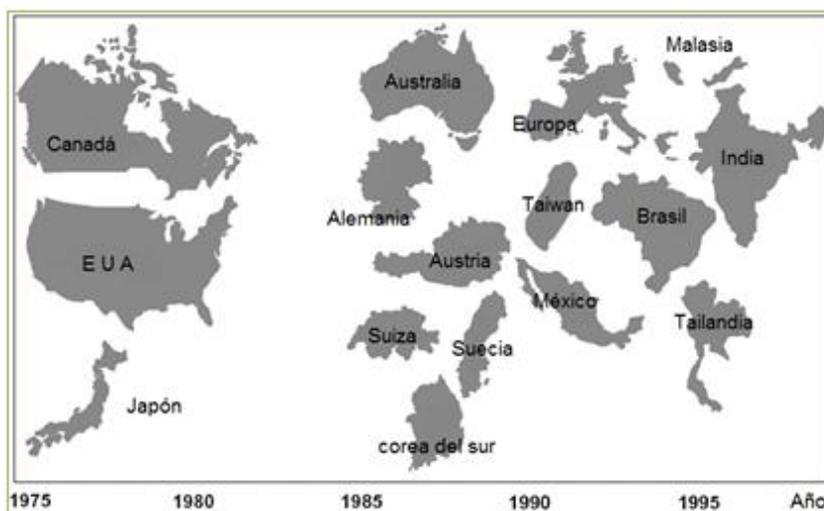
1.2. Evolución de los convertidores catalíticos

La incorporación de convertidores catalíticos en los sistemas de escape comenzó a finales de los años 70 en el estado de California, con un enfoque en disminuir los gases de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). En 1981 mejoró la comercialización de los convertidores catalíticos gracias a la invención del sensor de oxígeno, logrando así obtener una lectura más precisa de las emisiones contaminantes. Durante la siguiente década las normas de emisiones se adaptaron en el resto de Estados Unidos, Europa y Japón. (Acres y Harrison, 2004)

En la década de 1960, los automóviles emitían aproximadamente 100 gramos de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) por cada milla recorrida. Actualmente, debido a los avances en los convertidores catalíticos, las emisiones se han logrado reducir a tan solo 2 gramos por milla, fruto de más de treinta años de investigación y desarrollo (Cooper, 2004).

Figura 2

Dispersión del convertidor catalítico



Nota: Aplicación de los convertidores catalíticos a lo largo del tiempo.

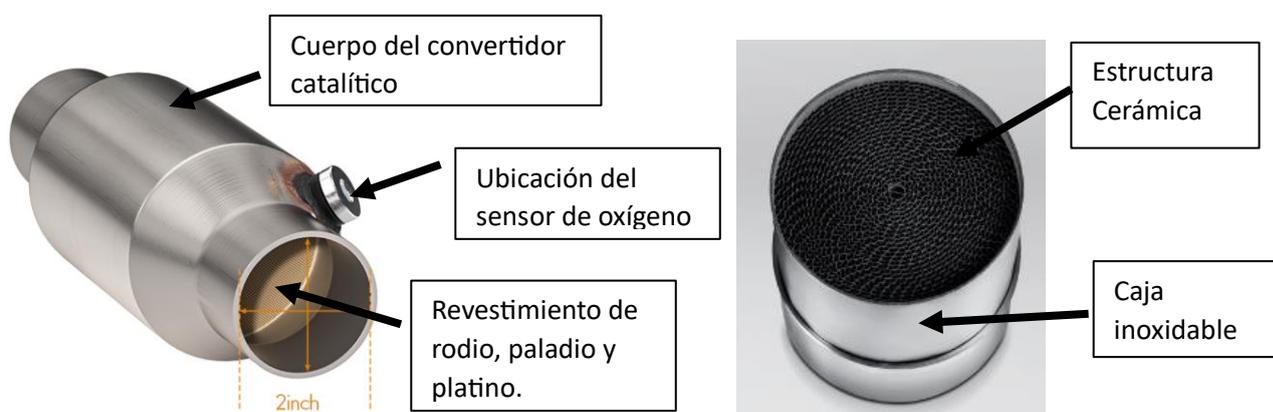
La diferencia entre los tipos de catalizadores radica en el combustible que utiliza el motor. Los motores de gasolina emplean catalizadores de tres vías, los cuales son los más utilizados a nivel mundial debido a su alta eficiencia, ya que permiten realizar procesos de oxidación y reducción de manera simultánea. Por otro lado, en los motores diésel, este tipo de catalizador se limita a la oxidación, reduciendo eficazmente las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO), aunque no es capaz de transformar los óxidos de nitrógeno (NOx) ni de eliminar las partículas suspendidas características de estos motores (Seo et al., 2012).

1.3. Estructura de un convertidor catalítico

En las motocicletas el convertidor catalítico se encarga de disminuir los gases contaminantes y el sonido producido por el motor, obteniendo así gases más inocuos y seguros para el medio ambiente y las personas. Las motocicletas al igual que los automóviles emiten gases como monóxido de carbono, óxidos nitrosos, e hidrocarburos no combustionados, es ahí donde entra en funcionamiento el convertidor catalítico transformándolos a dióxido de carbono, nitrógeno y agua, reduciendo así las emisiones contaminantes (figura 3) (Roadsitalia, 2023).

Figura 3

Mini convertidor catalítico



Nota: Convertidor catalítico utilizado para motocicletas.

El convertidor catalítico se centra en utilizar reacciones redox con el fin de reducir los gases tóxicos que llegan a la atmosfera. En su interior se encuentra una estructura similar a la de un panal, fabricada de cerámica y cubierta por sustancias catalizadoras conocidas como platino, paladio y rodio.

Gracias a esto se produce las reacciones de reducción y oxidación, este método es muy eficaz y rentable para la regulación de emisiones en motocicletas, pero también tienen algunas limitantes, como el hecho de que requiere una temperatura muy alta para funcionar siendo prácticamente ineficiente cuando se arranca el motor en frío. (Martínez Rivera, 2015)

1.4. Funcionamiento del convertidor catalítico

El catalizador de un vehículo convierte los gases de escape dañinos en compuestos menos peligrosos mediante reacciones químicas que ocurren gracias a un revestimiento de metales nobles.

A medida que los gases de escape atraviesan esta estructura, los NOx se transforman en nitrógeno y oxígeno, mientras que los HC y CO se transforman en dióxido de carbono y agua.

A continuación, se explica el funcionamiento del catalizador:

1.4.1. Entrada de Gases de Escape:

- Los gases que contienen contaminantes entran en el catalizador directo del motor a través del colector de escape.

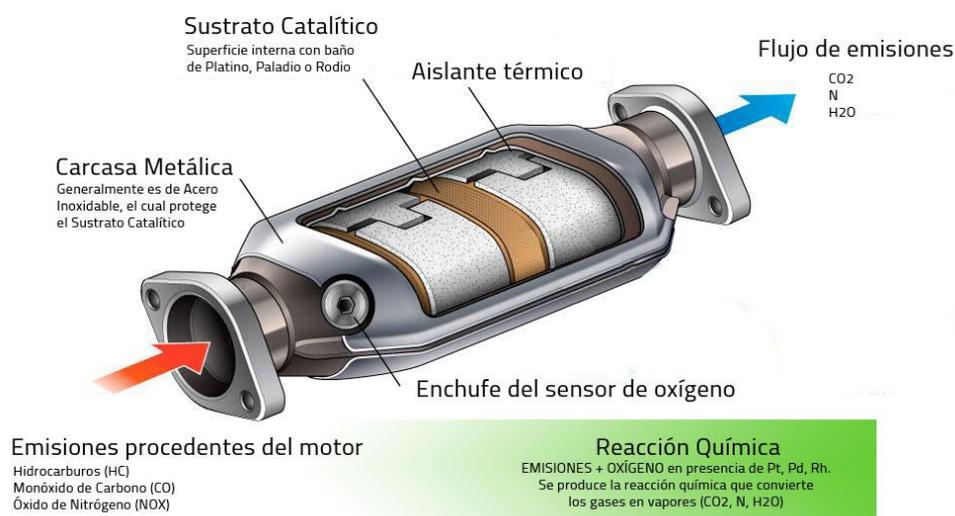
1.4.2. Estructura Interna:

- En el interior del catalizador, existe una estructura cerámica con numerosos canales pequeños, similar a un panal de abejas, que facilita el paso de los gases.

Esta estructura está recubierta con metales preciosos, que actúan como agentes catalizadores para facilitar las reacciones químicas, transformando los gases en compuestos menos contaminantes.

Figura 4

Componentes del catalizador



Nota: Elementos del convertidor catalítico.

1.5. Emisiones contaminantes

Las emisiones de los automóviles resultan de la oxidación del combustible fósil en los motores, liberando gases y partículas dañinas para el medio ambiente. Estos gases contaminantes representan el 60 % de las emisiones totales de los vehículos (Miranda Vizúete, 2016).

1.5.1. Monóxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) puede descomponerse, facilitando la formación de CO, esto se debe a altas temperaturas de funcionamiento (2000°K), a la propagación incorrecta de

la llama generada debido a mezclas pobres en el motor y por zonas en donde se combina una mezcla de combustible vaporizado con aire en porciones muy bajas (Miranda Vizúete, 2016).

Ecuación 1



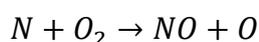
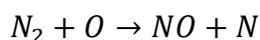
1.5.2. Hidrocarburos

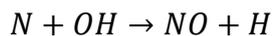
Los hidrocarburos (HC) se genera cuando la mezcla de aire y combustible no se combustiona de manera eficiente, sus principales causas son los problemas en el encendido o por una evaporación inadecuada del combustible, lo que deja pequeñas cantidades sin quemar. Además, durante esta combustión incompleta se generan hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y otros compuestos como alcoholes y aldehídos. Estos elementos, que no estaban en el combustible original, pueden favorecer la formación de ozono en la troposfera, lo que a su vez genera el smog que comúnmente observamos en las ciudades. En el combustible se pueden encontrar compuestos oxigenados como formaldehído, acetaldehído y propio aldehído los cuales contribuyen al 40% de la formación de ozono en el entorno (Miranda Vizúete, 2016).

1.5.3. Óxido de nitrógeno

Los Óxidos de nitrógeno o NO_x están conformados por el óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), y óxido nitroso (N₂O). La formación del óxido nítrico se da por la oxidación del nitrógeno a temperaturas elevadas, normalmente cuando existen mezclas pobres o cercanas al dosado estequiométrico (Miranda Vizúete, 2016).

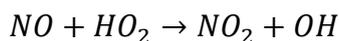
Ecuación 2





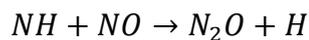
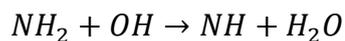
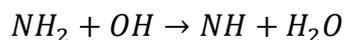
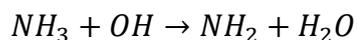
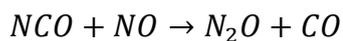
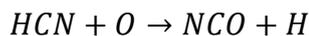
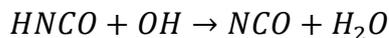
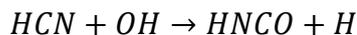
La formación de dióxido de nitrógeno ocurre cuando las moléculas de óxido nítrico se trasladan a áreas frías en presencia de HO₂, que están a una temperatura más baja, lo que provoca una reacción entre ellas (Miranda Vizuite, 2016).

Ecuación 3



El óxido nitroso es un elemento químico derivado del combustible, el cual normalmente se genera por mezclas pobres debido a la disminución de la temperatura de combustión (EPA, 2024).

Ecuación 4



1.6. Procesos químicos en el convertidor catalítico

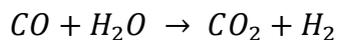
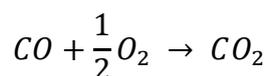
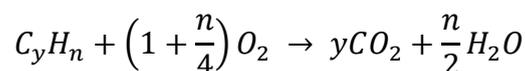
El convertidor catalítico tiene como función principal transformar los gases generados durante la combustión, en compuestos menos perjudiciales antes de ser emitidos a la atmósfera.

Además, cumple con otros requisitos de los fabricantes de automóviles, como reducir el ruido del escape y asegurar una transferencia de calor confiable (Zidat, 2009).

La conversión de gases dañinos en el convertidor catalítico se fundamenta en reacciones de oxidación y reducción, que tienen lugar a temperaturas superiores a 400°C en motores a gasolina. Durante el proceso de oxidación, las emisiones de CO y HC se transforman en compuestos inofensivos como CO₂ y H₂O (Martínez Rivera, 2015)

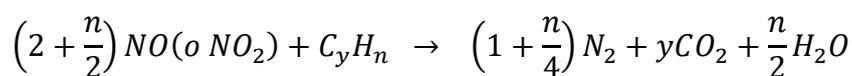
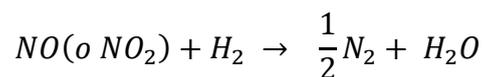
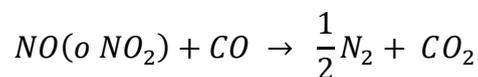
A continuación, se presentan las reacciones de oxidación según la ecuación

Ecuación 5



Por otro lado, las reacciones de reducción se emplean para convertir NO_x en moléculas de N₂ y H₂O, y esta reducción se describe mediante las siguientes ecuaciones.

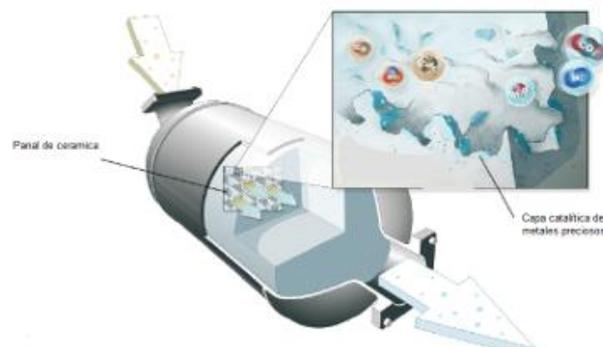
Ecuación 6



El fenómeno químico reducción actualmente se aplica solo en motores a gasolina, donde la alta temperatura permite convertir los NOx en gases inertes. La Figura 5 ilustra el esquema de este proceso químico en los convertidores catalíticos de motores a gasolina.

Figura 5

Reacciones químicas del Convertidor catalítico



Nota: Representación del proceso químico del convertidor catalítico

1.7. Tipos de convertidores catalíticos:

El catalizador de dos vías cumple la función principal de transformar los contaminantes; como el monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no combustionados (HC) en compuestos menos dañinos. El proceso de oxidación ocurre en presencia del oxígeno, por lo que estos sistemas suelen ser más efectivos en vehículos que funcionan con exceso de aire. Sin embargo, su desventaja es que no reducen los óxidos de nitrógeno (NOx), otro contaminante relevante en la combustión interna (Heywood, 2018).

Figura 6

Convertidores Catalíticos de dos vías

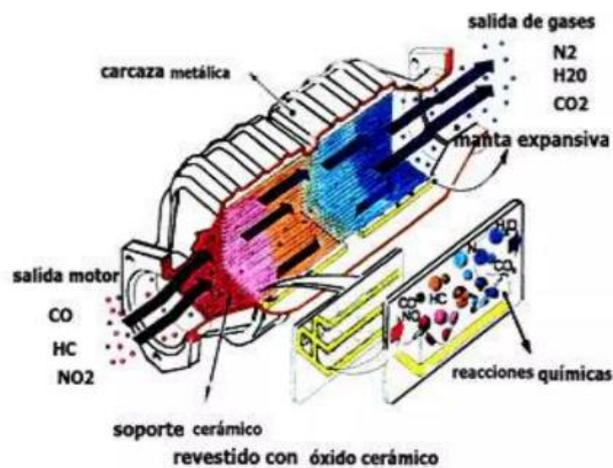


Nota: Catalizador de Reducción (Doble vías)

El catalizador de tres vías se denomina así, porque puede controlar simultáneamente las emisiones de tres contaminantes clave: CO, HC y NO_x. El catalizador facilita las reacciones de oxidación y reducción, lo que permite convertir CO y HC en CO₂ y H₂O, al mismo tiempo que transforma los NO_x en nitrógeno y oxígeno. (Johnston, 2020).

Figura 7

Convertidores Catalíticos de Tres Vías



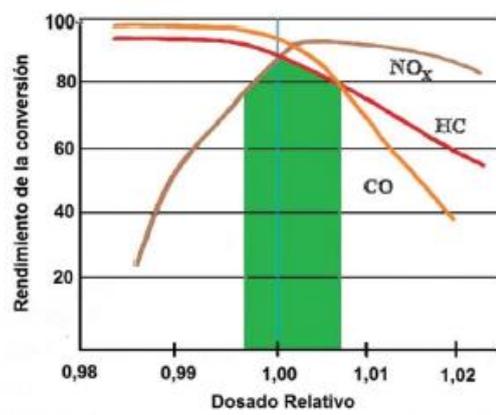
Nota: Catalizador de Tres Vías

1.8. Características importantes del convertidor catalítico

Para realizar la oxidación se utiliza una mezcla de Platino con Paladio y para la reducción el Rodio en proporciones de 5:1 a 10:1. La conversión de los tres componentes supera el 80% cuando el factor lambda esta entre 0,998 y 1,007 (figura 8)

Figura 8

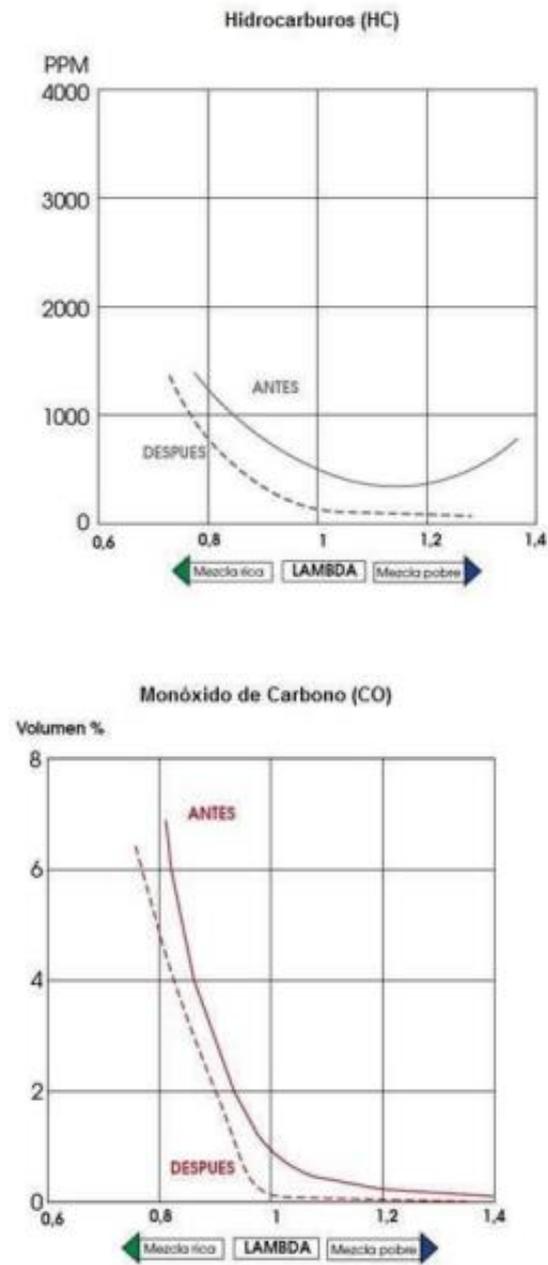
Rendimiento de un convertidor catalítico

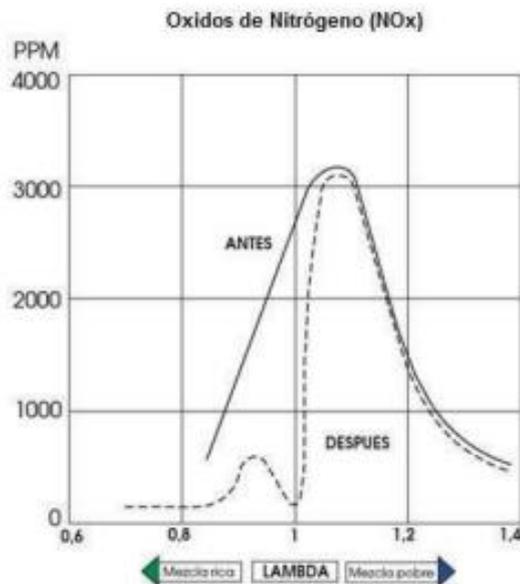


Nota: Análisis del rendimiento del convertidor catalítico en una mezcla homogénea

Los componentes lubricantes o aditivos de combustible como plomo o arsénico impregnan impurezas dentro del convertidor catalítico por lo que se reduce el rendimiento de este. Por lo tanto, se recomienda no utilizar combustibles de baja calidad y mantenerlos libres de impurezas.

Las emisiones contaminantes dependen del factor lambda, que está relacionado con la mezcla de aire y combustible en una proporción de aproximadamente 14,7:1, lo que corresponde a $\lambda=1$. Gracias al uso del convertidor catalítico, las emisiones de CO y HC pueden reducirse casi por completo, alcanzando valores cercanos al 0% cuando el motor opera cerca de $\lambda=1$ y con una mezcla pobre. Por otro lado, las emisiones de óxido de nitrógeno disminuyen bajo condiciones de $\lambda=1$ y con una mezcla rica. (figura 9).

Figura 9*Emisiones de CO, HC, NOx*



Nota: Comparaciones de gases CO, NOx, HC, antes y después del convertidor catalítico

1.9. Analizador de gases

Los medidores de gases son herramientas fundamentales para evaluar y determinar la composición de los gases en una muestra. Utilizan diferentes técnicas de detección, como la espectroscopía, cromatografía, electroquímica o sensores químicos, cada una con sus propias ventajas y limitaciones.

1.10. Efectos de las emisiones contaminantes en la salud humana

Tabla 1

Efectos de los gases producidos por la combustión en la salud humana

Efectos en la salud humana		
Monóxido de carbono	Hidrocarburos	Óxido de nitrógeno
Es un compuesto muy tóxico para los seres humanos, generando dolor de cabeza, mareos, debilidad, confusión, náusea,	Los HC pueden provocar irritación en los ojos, nariz y garganta al respirar, lo que posteriormente provocaría	Los NOx irritan las mucosas de la nariz, garganta y pulmones, causando dificultades respiratorias, y con el paso del

pérdida de conocimiento y hasta dolores de cabeza intensos y tiempo pueden dañar el tejido de la muerte. episodios de vértigo. los pulmones, creando cicatrices.

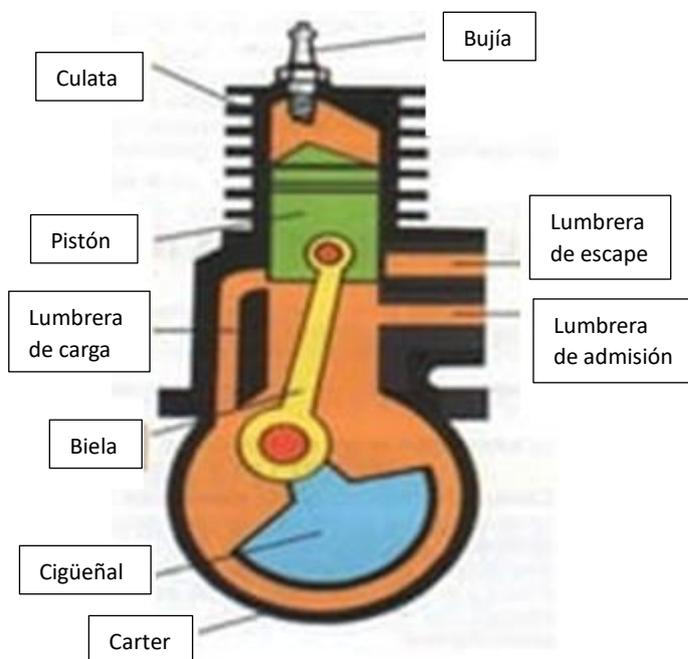
Nota: Contaminación producida por la combustión de motores. Información tomada de: (OMS, 2024)

1.11. Definición y tipo de motores (2T y 4T)

La principal diferencia entre un motor de 4 tiempos y de 2 tiempos está en su modo de operación: el motor de 4 tiempos necesita cuatro etapas, es decir, dos vueltas completas del cigüeñal, para generar una carrera de potencia. En cambio, el motor de 2 tiempos lo logra en solo dos etapas o una vuelta completa. Esto implica que, en teoría, el motor de 2 tiempos puede generar el doble de potencia que un motor de 4 tiempos, y, además, ser más ligero.

Figura 10

Motor de 2 tiempos



Nota: Operación de los motores de 2 tiempos

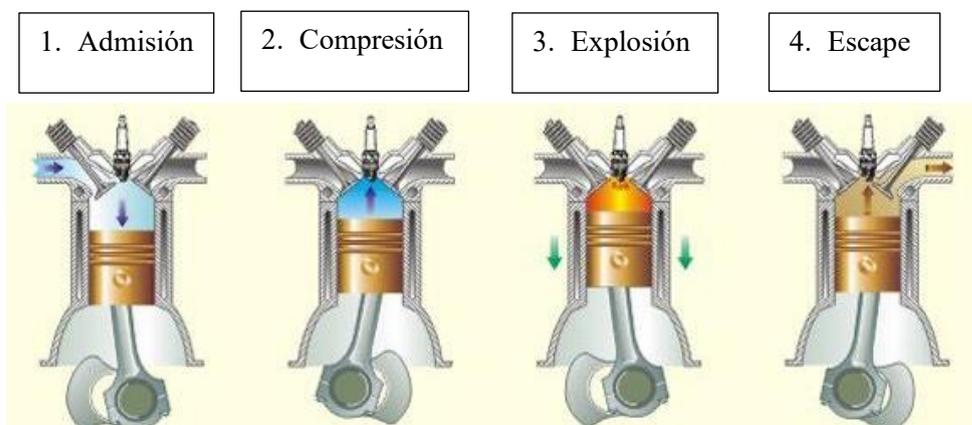
Los motores de 2 tiempos cuentan con un diseño y una operación más simple que los de 4 tiempos, lo que implica que el combustible se mezcla con aceite para lubricar las piezas internas. Esta mezcla se quema en el proceso, generando un mayor nivel de contaminación y desperdicio de combustible, ya que no todo explota durante la combustión. El ciclo de estos motores se reduce a dos pasos: admisión-compresión y combustión-escape, lo que les permite alcanzar revoluciones más altas y una respuesta más rápida que los motores de 4 tiempo

1.11.1. Motor de 4 tiempos

Este tipo de motores no mezclan gasolina y aceite, lo que los hace más complejos que los de 2 tiempos, con componentes como el cilindro, biela, bujía, válvulas y cigüeñal. Esta complejidad mejora la eficiencia, aunque los hace más lentos en respuesta. Ofrecen ventajas como el ahorro de aceite, ya que este no se quema, y la reducción de emisiones contaminantes, lo que los convierte en una opción más ecológica y de conducción más limpia en comparación con los motores de 2 tiempos.

Figura 11

Motor de 4 tiempos



Nota: Fases de operación de los motores de 4 tiempos

1.12. Relevancia del torque en el rendimiento del motor

Tabla 2

Relevancia del torque

Aceleración y Capacidad de Respuesta:	Capacidad de Carga:	Eficiencia de Combustible	Manejo y Estabilidad:
Relación directa con la aceleración. Alto torque a bajas RPM: aceleración rápida sin altas velocidades. Ideal para conducción urbana (paradas y arranques frecuentes).	Importancia en motocicletas para transportar peso. Alto torque permite mover cargas pesadas sin comprometer la aceleración. Crucial para motos de turismo o utilitarias.	Influye en el consumo de combustible. Con un buen torque a bajas RPM obtenemos mayor eficiencia y menor consumo. Beneficia económicamente y reduce emisiones contaminantes.	Afecta el comportamiento y control de la motocicleta. Un buen torque mejora la respuesta al acelerar. Mayor seguridad al tomar curvas y maniobrar.

Nota: Aspectos que se destacan del torque en función del motor

1.13. Régimen de revoluciones por minuto (RPM)

En los motores el torque aumenta hasta alcanzar su punto máximo en un determinado rango de RPM, y luego comienza a descender. Cada motor tiene un rango de funcionamiento óptimo en el que su eficiencia es superior. Es importante que los motociclistas y operadores de maquinaria reconozcan este rango para aprovechar al máximo el torque disponible. Mantener el motor operando dentro de este rango mejora la entrega de potencia y optimiza la aceleración.

1.14. Definición de potencia y torque

El torque mide la fuerza rotacional generada por un motor y se determina al multiplicar la fuerza ejercida por la distancia al eje de rotación, conocida como brazo de palanca. Sus unidades comunes son Nm o lb-ft. En el caso de los motores, el torque resulta fundamental

para analizar su capacidad de realizar trabajo, especialmente en condiciones que implican carga o aceleración.

Por otro lado, la potencia es la cantidad de trabajo realizado en un tiempo específico, generalmente medida en caballos de fuerza o kilovatios. Este resulta de la combinación del torque con la velocidad a la que se aplica (RPM). La relación entre ambos se expresa con la fórmula:

Ecuación 7

$$Potencia (W) = Torque (Nm) \times RPM \times \frac{2\pi}{60}$$

Esto muestra que la potencia depende directamente del torque y de las revoluciones por minuto. Si se incrementan las RPM manteniendo un torque constante, la potencia también aumentará, y lo mismo ocurre a la inversa.

1.15. Sistema de Escape

En un vehículo de gasolina, el sistema está formado por diversas piezas que funcionan en conjunto para gestionar y expulsar los gases producidos durante la combustión. Entre sus componentes se incluyen el colector de escape, los tubos, el catalizador, el silenciador o resonador, y los sensores de oxígeno.

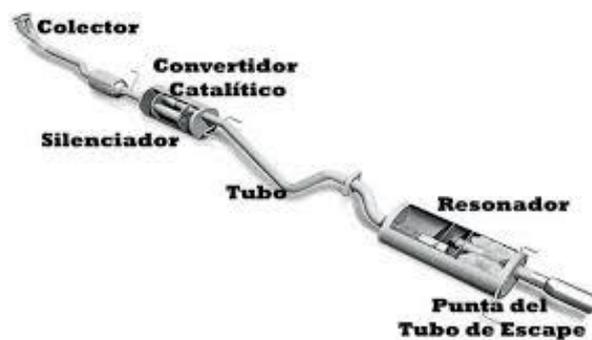
El colector se encarga de recoger los gases del motor y enviarlos hacia el resto del sistema. Luego, los tubos de escape llevan esos gases hacia la parte trasera del vehículo. Durante ese trayecto, los gases pasan por el catalizador, que tiene la importante tarea de reducir las emisiones contaminantes al transformar los gases tóxicos en sustancias menos dañinas para el medio ambiente.

El silenciador o resonador, por su parte, se encarga de reducir el ruido que hacen los gases al salir del motor. Esto lo logra a través de cámaras y deflectores que amortiguan el

sonido. Además, los sensores de oxígeno miden la magnitud del oxígeno en las emisiones, lo que permite ajustar el motor para que funcione de manera más eficiente y consuma menos combustible.

Figura 12

Sistema de escape



Nota: Sistema de escape de un vehículo con sus componentes

1.16. Revisión técnica vehicular

El Centro de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) tiene la importante tarea de asegurarse de que los vehículos sean seguros y respetuosos con el medio ambiente. Para lograrlo, verifica que cumplan con las normas establecidas, tanto técnicas como legales, y que las emisiones contaminantes se mantengan dentro de los límites permitidos por la ley (Miranda Vizquete, 2016).

1.17. Normativa de emisiones contaminantes vehiculares

Las normativas de emisiones vehiculares definen los niveles máximos de contaminación permitidos para los vehículos como resultado de la combustión. Estas regulaciones controlan principalmente la emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno.

El instituto ecuatoriano de normalización (INEN), se encarga de establecer las normas técnicas que regular las emisiones contaminantes. Teniendo estos aspectos claros los motores están regulados por la normativa INEN 2204, la cual incluye un organismo de inspección con alcance a los reglamentos RTE INEN 017 y RTE INEN 136-1R (INEN_2204, 2024).

La normativa RTE INEN 136 (1R) está diseñada para regular las motocicletas y triciclos motorizados que emplean gasolina o mezclas de gasolina y aceite como combustible. Según esta norma, cuando estos vehículos operan en ralentí y alcanzan su temperatura normal de funcionamiento, no pueden superar los niveles permitidos de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos sin quemar (HC) especificados en la tabla 3 (RTE_INEN_136, 2021).

Tabla 3

Valores de emisiones según la normativa RTE INEN 136 (1R)

Tipo de motor	CO (%V)	HC (ppm)
Todas	3.5	2000

Nota. Esta tabla contiene los valores de emisiones para motocicletas en ralentí. Tomado de (RTE_INEN_136, 2021).

En las pruebas dinámicas, se debe garantizar que las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) se mantengan dentro de los límites autorizados por la Directiva Europea 2002/51/EC, aplicable al Ciclo ECE R 40. Los valores específicos están disponibles en la tabla 4.

Tabla 4

Valores de emisiones para motocicletas. Ciclo ECE R 40

Desplazamiento	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)
< 150 cm³	2.0	0.8	0.15
≥ 150 cm³	2.0	0.3	0.15

Nota. Esta tabla contiene los valores de emisiones para motocicletas en pruebas dinámicas. Tomado de (RTE_INEN_136, 2021).

Tabla 5

Valores de emisiones para motocicletas. Ciclo FTP-75

Categoría	Desplazamiento	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)
Clase 1	0-169 cm^3	12	1,0	1,4
Clase 2	170-279 cm^3	12	1,0	1,4
Clase 3	$\geq 280 \text{ cm}^3$	12	-	1,4

Nota. Esta tabla contiene los valores de emisiones para motocicletas en pruebas dinámicas. Tomado de (RTE_INEN_136, 2021).

1.18. Normativas Europeas

Las normativas europeas comenzaron a aplicarse en 1992 con la Directiva 70/220/CEE²³ dando inicio a la norma Euro 1. Desde entonces, estas regulaciones han ido evolucionando, y la versión más reciente, conocida como Euro 6, entró en vigor en 2014. Estas normas están diseñadas para cubrir una amplia gama de vehículos, incluyendo autos ligeros, camiones, trenes y tractores, y se organizan de la siguiente manera:

- M1: Para transportes con una capacidad máxima de 8 pasajeros además del conductor.
- N1: Para vehículos de carga que no excedan las 3,5 toneladas métricas de peso máximo.

Básicamente, la normativa euro 4 fija límites claros sobre cuánto pueden contaminar los vehículos ligeros, ya sean de gasolina o diésel. Esos límites ayudan a reducir las emisiones de sustancias nocivas, buscando que los vehículos sean más respetuosos con el medio ambiente.

Tabla 6

Regulación de las emisiones de la normativa

Emisiones contaminantes	Monóxido de carbono (CO)	Hidrocarburos (HC)	Óxidos de nitrógeno (NOx)	Hidrocarburos totales + Óxidos de nitrógeno (HC+NOx)	Partículas (PM)
Emisiones de la normativa Euro 4					
Gasolina	1.0 g/km	0.10 g/km	0.08 g/km	-	-
Diesel	0.50 g/km	No aplicable	0.25 g/km	0.30 g/km	0.025 g/km
Emisiones de la normativa Euro 5 (gasolina)					
M1	1 g/km	0,1 g/km	0,06 g/km		0,005 g/km
N1	2,27g/km	0,16 g/km	0,082 g/km		0,005 g/km
Emisiones de la normativa Euro 6 (gasolina)					
M1	1 g/km	0,1 g/km	0,06 g/km		0,005 g/km
N1	-	-	-	-	-

Nota: Valores de regulación de la normativa Euro

1.19. Normativa Estadounidense (EPA y CARB)

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece normas a nivel federal, implementa regulaciones más rigurosas en el estado. Esta normativa establece límites para emisiones como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no combustionados (HC) y partículas. También requieren la instalación de sistemas de diagnóstico a bordo (OBD) que permiten monitorear las emisiones de los vehículos.

1.20. Normativas Japonesas (J-LEV, SU-LEV)

Japón cuenta con sus propios criterios para las emisiones de vehículos, incluyendo el J-LEV (Low Emission Vehicle) y el SU-LEV (Super Ultra Low Emission Vehicle), los cuales imponen límites rigurosos para diferentes contaminantes.

1.21. Normativas para la Construcción de Catalizadores

Las regulaciones para la fabricación de catalizadores garantizan que estos dispositivos sean eficientes, seguros y duraderos. Estas regulaciones abarcan especificaciones técnicas y pruebas rigurosas, tales como:

- **ISO 22241:** Define los requisitos para la utilización de urea de calidad automotriz en sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR).
- **SAE J1939:** Este estándar de la Society of Automotive Engineers (SAE) establece los requisitos para los sistemas de comunicación y diagnóstico en vehículos comerciales.
- **Reglamentos de la ECE (Comisión Económica para Europa):** Varios reglamentos de la ECE, como el Reglamento No. 83, establecen los procedimientos de prueba y las especificaciones técnicas para los catalizadores utilizados en vehículos de motor.

1.22. Normativas Específicas para Catalizadores

- **Directiva 2009/40/EC (Unión Europea):** Establece las regulaciones para las inspecciones técnicas de vehículos, garantizando que los catalizadores funcionen adecuadamente.
- **Regulación de la EPA 40 CFR Parte 86 (Estados Unidos):** Define los estándares de emisiones y los requisitos de durabilidad, aplicables tanto a vehículos ligeros como pesados.

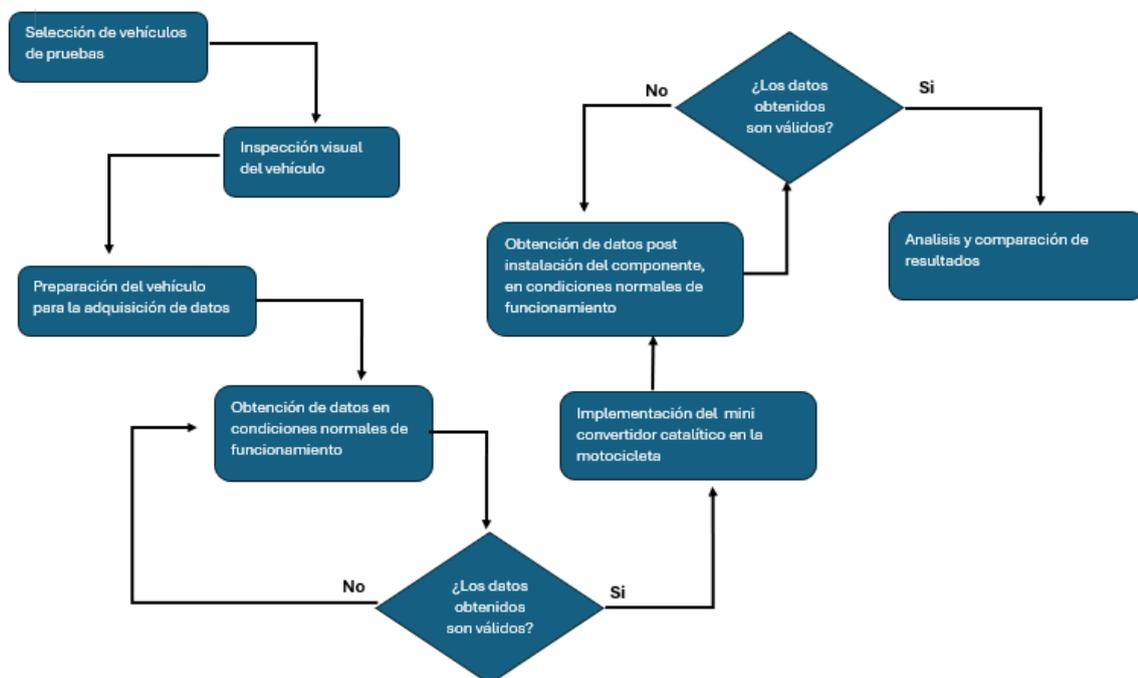
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION Y DISEÑO EXPERIEMTNAL

La incorporación de un mini convertidor catalítico en el sistema de escape tiene como objetivo principal reducir las emisiones contaminantes generadas durante su funcionamiento. Esta implementación no solo contribuye a disminuir el impacto ambiental, sino que también plantea la necesidad de analizar cuidadosamente cómo afecta este componente en el torque del vehículo.

Para obtener resultados confiables, es importante seguir una serie de pasos bien organizados, que incluyen desde elegir y revisar el vehículo de prueba hasta recopilar y analizar los datos obtenidos

Figura 13

Flujograma de la metodología utilizada para adquisición de datos



Nota: Se presenta el flujograma con las actividades a realizar. Tomado de Autores.

2.1. Selección de vehículo de prueba

Escoger el vehículo para las pruebas resulta una etapa fundamental en nuestra metodología de investigación, ya que influye directamente en la pertinencia y aplicabilidad para los resultados. En esta investigación, se ha elegido la motocicleta Yamaha XTZ-150, debido a su crecimiento en áreas urbanas y a su notable versatilidad y resistencia. Este modelo es ideal tanto para entornos urbanos como para terrenos off-road, y está equipado con todos los componentes necesarios para garantizar un desempeño óptimo.

Figura 14

Motocicleta Yamaha XTZ-150



Nota. Motocicleta que será utilizada para realizar el trabajo de titulación

2.2. Especificaciones técnicas del vehículo seleccionado

En esta sección se describen los aspectos técnicos de la motocicleta Yamaha XTZ-150, detallando características claves como el motor, la transmisión, las dimensiones y sistemas eléctricos. Estos datos son esenciales para comprender su rendimiento en las pruebas realizadas. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del vehículo.

Tabla 7*Características de la motocicleta*

MOTOCICLETA YAMAHA XTZ 150			
Características generales		Motor	
Modelo	XTZ 150	Potencia máxima	12.3Hp @ 7500 rpm
Fabricante	Yamaha Corporation	Cilindrada real	149 cm ³
Tipo de motor	Cuatro tiempos	Diámetro del cilindro	57.3 mm
Sistema de encendido	TCI (Transistor Controlled Ignition)	Carrera del cilindro	57.9 mm
Sistema de lubricación	Carter húmedo	Relación de compresión	9.6:1
Sistema de transmisión	5 velocidades, engrane constante	Sistema de alimentación	de Inyección electrónica
Transmisión final	Cadena	Torque máximo	13.1Nm @ 6000 rpm
Dimensiones		Frenos	
Largo total	2.050 mm	Freno delantero	Disco hidráulico, / 230 mm
Ancho total	830 mm	Freno trasero	Tambor, / 13° mm
Altura total	1.140 mm	Neumático D.	90/90-19M/C, con cámara
Distancia entre ejes	1.350 mm	Neumático T.	110/90-17M/C, con cámara

Nota. Esta tabla se detalla los datos técnicos de la motocicleta Yamaha XTZ 150. Tomado de (Yamaha, 2024)

2.3. Mantenimiento general del vehículo

El mantenimiento continuo de un vehículo es crucial para asegurar su funcionamiento óptimo, seguridad y vida útil. A medida que el vehículo se utiliza, experimenta diversas

condiciones y desgaste, lo que hace imprescindible realizar inspecciones y ajustes periódicos. Un buen mantenimiento no solo previene posibles averías y gastos imprevistos, sino que también garantiza un rendimiento eficiente y seguro. Este proceso incluye el chequeo y cuidado de componentes clave como el motor, los neumáticos, los frenos y el sistema eléctrico.

2.4. Inspección visual del vehículo

La inspección visual nos permite identificar posibles averías en el funcionamiento de la motocicleta. Este proceso implica revisar detenidamente todas las partes visibles del vehículo, tanto externas como internas, para identificar signos de desgaste o daños. Realizar estas inspecciones de manera periódica asegura que el vehículo mantenga su buen funcionamiento, mejora la seguridad durante la conducción y contribuye a prolongar la vida útil de la motocicleta.

Tabla 8

Inspección visual del vehículo

Elemento	Estado
Sistema de Frenos	Requiere atención futura
Filtro de aire motor	Buen estado
Cadena de transmisión	Requiere atención futura
Sistema de luces	Requiere atención futura
Sistema de suspensión	Buen estado
Neumáticos	Requiere atención futura
Sistema de escape	Buen estado
Cubiertas exteriores	Buen estado
Espejos	Buen estado

Nota: Inspección y chequeo general realizado en la motocicleta Yamaha XTZ 150 con el fin de detectar anomalías en los componentes. Tomado de autores.

2.5. Desarrollo de la metodología de investigación

Comprender un fenómeno implica llevar a cabo un proceso de investigación organizado y metódico. Para esto, se pueden utilizar diversas fuentes, como libros, revistas, periódicos o tesis, que sirven de apoyo para desarrollar las ideas. Es esencial transformar las ideas generales en problemas de investigación más definidos, y para lograrlo, es necesario realizar una revisión bibliográfica detallada.

2.5.1. Experimentos factoriales

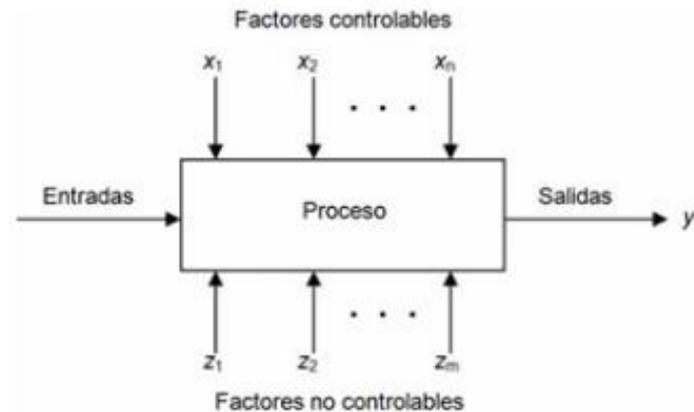
Este tipo de diseño nos permite estudiar dos o más factores (variables independientes) cada una conteniendo niveles discretos, donde las unidades experimentales abarcan todas las combinaciones posibles para obtener respuestas concisas. (Variables dependientes). Estos tipos de experimentos permiten al investigador determinar cuánto influye los factores en las variables de respuesta. Regularmente se utiliza en investigaciones científicas, de ingeniería, o para optimizar datos estadísticos como procesos, y comprender factores que influyen en el resultado.

2.5.2. Diseño experimental

Se utiliza para planificar, estructurar y analizar experimentos de manera eficiente, empleando diversas variables de entrada (Factores) y variables principales de salida (Respuestas), asegurando que los datos recopilados sean relevantes, confiables y permitan extraer conclusiones validadas sobre un fenómeno o proceso (figura 15).

Figura 15

Variables de entrada y salida



Nota. Esquema grafico del diseño experimental. Tomado de (Montgomery, 2004)

2.5.3. Elementos del diseño experimental

Unidad Experimental: Es la unidad básica sobre la que se toman las mediciones o se observan los resultados, y juegan un papel clave en el diseño experimental, utilizando muestras o piezas empleadas para generar un valor que sea significativo en el experimento o prueba.

Variable de respuesta: Es la variable encargada de medir y analizar los resultados de un experimento. Este tipo de variable puede representar aspectos como la calidad de un producto, el rendimiento de un proceso o cualquier otro indicador que se desee optimizar o mejorar.

Factores controlados: Son considerados factores independientes, ya que el investigador lo puede ajustar o manipular durante el experimento. Estos pueden incluir variables relacionadas con el proceso, como la temperatura o la presión.

Factores no controlados: Este tipo de variables no pueden ser controladas por el investigador en el funcionamiento normal de un proceso. Estos factores incluyen aspectos como las condiciones ambientales y características de los materiales o los métodos utilizados.

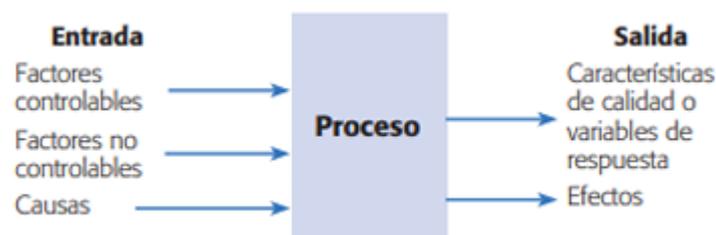
Factores estudiados: Se refiere a las variables que se examinan en un experimento con relación al efecto que provocan en las variables dependientes. Estos factores pueden ser

controlados o no, pero en cualquier caso debe contener dos niveles o condiciones para observar sus efectos de manera adecuada.

Niveles y tratamientos: Son las condiciones a las cuales se somete un factor durante el experimento, teniendo en cuenta las combinaciones específicas de todos los factores.

Figura 16

Factores que interviene en la unidad experimental



Nota. Factores que interviene en la unidad experimental. Tomado de (Pulido y Salazar, 2008)

2.6. Etapas del diseño experimental

En un diseño experimental el punto fundamental es determinar que pruebas o tratamientos se van a utilizar y el número de réplicas de cada uno de ellos. El objetivo es obtener la mayor cantidad de información con el menor costo posible. Todo el conjunto de pruebas y repeticiones se denomina matriz de diseño.

2.6.1. Planteamiento

a) Delimitar el problema de estudio

En esta etapa es importante realizar investigaciones preliminares para comprender y definir el problema permitiéndonos aclarar su importancia y su magnitud.

b) Determinación de variables de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño

Determinar la variable dependiente es de suma importancia, ya que refleja los resultados del experimento. Por ellos se deben elegir aquellas que más se representen para nuestro caso de estudio, y generen una alta confiabilidad para posteriores análisis.

c) Seleccionar los niveles de cada factor, así como el tipo de diseño experimental

Este paso es primordial, ya que se decide cuantas veces se repite cada tratamiento, considerado el tiempo, el costo, y el nivel de precisión deseado.

2.6.2. Organizar el trabajo experimental

Con la selección del diseño experimental, se debe organizar y planificar con detalle el trabajo que se va a realizar definiendo la forma en la que se realiza las pruebas, las personas que van a intervenir y los procesos que se van a seguir.

2.6.3. Realización del experimento

Realizar el experimento de acuerdo con el plan previsto, y en el caso de algún plan improvisado, notificar al personal responsable.

2.6.4. Análisis

En esta fase se analizará los resultados obtenidos en el experimento para comprobar si hay diferencias notables entre los grupos. Para ello, se abarcará el método estadístico conocido como ANOVA.

2.6.5. Interpretación

Analizar los datos del experimento es crucial, por lo que es fundamental contar con un análisis estadístico formal que nos brinde el apoyo necesario.

- a) Confirmar la hipótesis
- b) Identificar los nuevos aprendizajes

- c) Asegurarnos de los resultados
- d) Elegir el tratamiento ganador

2.7. Categorización y elección de diseños experimentales

Para la elección del diseño experimental se debe tener en cuenta cinco aspectos

claves:

- El objetivo del experimento
- El número de factores a estudiar
- El número de niveles para cada factor
- La relación entre los factores -respuesta
- El costo del experimento en términos de costo y dinero.

Estos aspectos están interrelacionados, y cambios en algunos de ellos suelen conducir a la elección de un diseño diferente. El tipo de diseño experimental es determinado por el objetivo del experimento, mientras que los otros aspectos son útiles para subclassificarlos.

2.8. Aplicaciones de la estadística

El método estadístico nos permite evaluar resultados, validar hipótesis y presentar conclusiones basadas en evidencias, ayudando al investigador a resolver un problema de una manera más eficiente.

2.8.1. Utilizar experimentos progresivos

El uso de experimentos progresivos facilita analizar los datos obtenidos para ajustar el diseño, las variables o los objetivos de las siguientes etapas. Este enfoque reduce riesgos, ya que permite identificar y corregir errores desde el principio. Sin embargo, es importante ser cuidadoso al pasar de una fase experimental a otra, asegurando que los cambios sean precisos y estén bien fundamentados, lo que ayuda a obtener resultados más claros y soluciones más efectivas sin depender del método de prueba y error.

2.8.2. Uso de softwares estadísticos

Contar con un software estadístico confiable, accesible y fácil de usar es esencial en la práctica investigativa, permitiéndonos desde cálculos simples, hasta modelos complejos, como análisis de regresión, pruebas de hipótesis y simulaciones.

Los programas estadísticos ofrecen múltiples ventajas, como la precisión, al minimizar los errores de cálculo mediante el procesamiento automático de datos; velocidad, ya que pueden analizar grandes volúmenes de información en segundos; versatilidad, al soportar una amplia variedad de técnicas estadísticas, desde análisis descriptivo hasta inferencial y predictivo; visualización, generando gráficos y tablas que simplifican la interpretación de los resultados; y reproducibilidad, al guardar los scripts y pasos del análisis, lo que permite repetir los procesos o compartirlos fácilmente.

2.9. Método utilizado

El diseño experimental se llevó a cabo utilizando el software Minitab y su herramienta (DOE), Se empleó el diseño Box-Behnken considerando tres factores de entrada: las revoluciones del motor, el tipo de combustible utilizado y la marcha en la que se encuentra. Como variables de respuesta, se analizaron las emisiones y el torque de la motocicleta. este experimento se realizó antes y después de colocar un mini convertidor catalítico para poder determinar sus efectos en los vehículos.

2.9.1. Diseño Experimental Box Behnken

Normalmente se utiliza para optimizar un proceso o producto, permitiéndonos estudiar las relevancias entre varias variables independientes (factores), y una a más variables dependientes (respuestas), con el propósito de encontrar el conjunto óptimo de condiciones para obtener un rendimiento máximo o mínimo del producto o proceso.

El diseño Box-Behnken destaca por su eficiencia, ya que requiere una menor cantidad de experimentos, esto lo hace una opción más ágil y rentable. Además, permite analizar tanto los efectos principales de los factores como sus interacciones, todo ello sin la necesidad de realizar un gran número de pruebas experimentales.

2.9.2. Características claves del diseño experimental Box Behnken

Diseño fraccionado: Este tipo de diseño no requiere probar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores, lo que lo hace más eficiente, especialmente cuando hay muchos factores involucrados.

Factores a tres niveles: En el diseño Box Behnken, cada factor se evalúa en tres niveles (bajo, medio, alto), por lo que no se prueba en las combinaciones extremas de estos niveles simultáneamente. Esto reduce la cantidad de experimentos necesarios.

Puntos experimentales: Este experimento genera una combinación de puntos que incluyen:

- Puntos en el centro (media de los niveles).
- Puntos en los bordes (niveles bajos y altos de cada factor).
- Puntos en las caras del cubo que representan las combinaciones intermedias.

Optimización de respuestas: Se usa comúnmente para encontrar las combinaciones de operación que maximizan o minimizan una respuesta, como la eficiencia de un proceso, el rendimiento de un producto o cualquier otra medida clave.

2.10. Proceso aplicado en la toma de datos de emisiones y torque

2.10.1. Planteamiento de la hipótesis

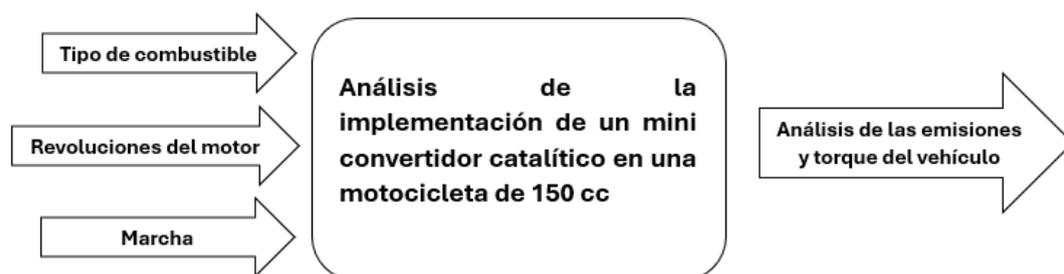
Se plantea hipotéticamente que la utilización del mini convertidor catalítico en el sistema de escape de la motocicleta ayudara a reducir las emisiones contaminantes, y al mismo tiempo podría generar la problemática de perdida de torque.

2.10.2. Selección de variables independientes

Estas variables representan las entradas para el experimento, teniendo en cuenta que se van a ejecutar varias combinaciones, junto con la ayuda del programa Minitab. El estudio presenta 3 variables de entrada (figura 17).

Figura 17

Variables del proceso



Nota. Variables dependientes e independientes. Tomado de Autores.

Se colocó todos los valores asociados a las variables independientes para poder crear el diseño experimental.

2.10.3. Tratamientos

El número de tratamientos fue determinado por el programa Minitab, utilizando la herramienta Box Behnken. Esta herramienta nos permite calcular las diferentes combinaciones de las variables de entrada y sus respectivos niveles. Una vez obtenido los resultados, se

determina la cantidad de ensayos a realizar, así como las combinaciones correspondientes (tabla 9).

Tabla 9

Tabla de muestras

Orden de corrida	RPM	RON	Marcha	Catalizador
1	2000	82	3	SIN
2	5000	82	3	SIN
3	2000	92	3	SIN
4	5000	92	3	SIN
5	2000	87	1	SIN
6	5000	87	1	SIN
7	2000	87	5	SIN
8	5000	87	5	SIN
9	3500	82	1	SIN
10	3500	92	1	SIN
11	3500	82	5	SIN
12	3500	92	5	SIN
13	3500	87	3	SIN
14	3500	87	3	SIN
15	3500	87	3	SIN
16	2000	82	3	CON
17	5000	82	3	CON
18	2000	92	3	CON
19	5000	92	3	CON
20	2000	87	1	CON
21	5000	87	1	CON
22	2000	87	5	CON
23	5000	87	5	CON
24	3500	82	1	CON
25	3500	92	1	CON
26	3500	82	5	CON
27	3500	92	5	CON
28	3500	87	3	CON
29	3500	87	3	CON
30	3500	87	3	CON

Nota: *Tabla de combinación de muestras. Tomado de Autores*

2.10.4. Variables de entrada

En nuestro diseño experimental los parámetros independientes o de entrada son todos los factores que afectan al funcionamiento del sistema y que podemos controlar, medir o modificar durante el experimento. Las variables independientes consisten en el número de revoluciones a la se encuentra la motocicleta, el tipo de combustible que se utiliza (Eco país, Super o la mezcla entre los dos), y una marcha definida para cada prueba.

2.10.5. Variables de respuesta

Las variables de respuesta son conocidas también como variables dependientes ya que se encuentran en función de los factores de entrada anteriormente mencionadas. Los parámetros dependientes consistirán en el torque de la motocicleta y las emisiones contaminantes las cuales emitan antes y después de incorporar el mini convertidor catalítico

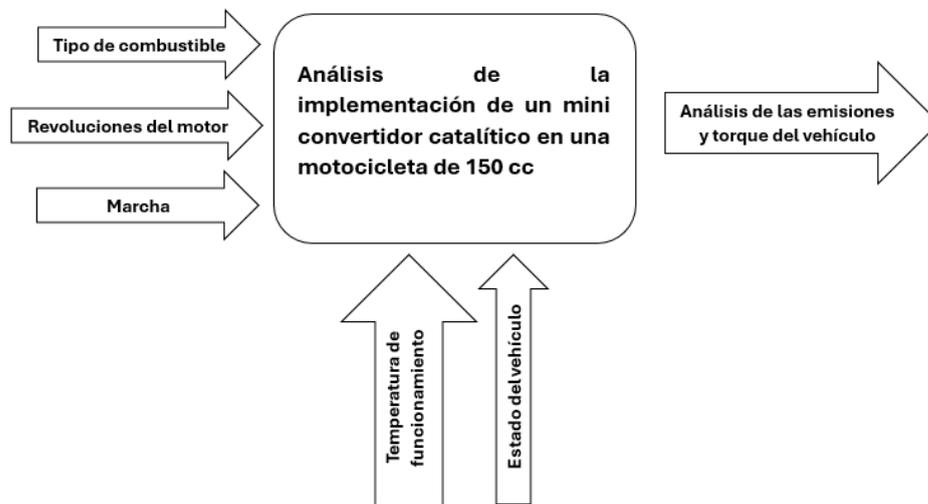
2.10.6. Variables de bloqueo

En nuestro experimento identificamos dos variables de bloqueo la temperatura de funcionamiento, y el estado el cual se encuentra el vehículo, dado que estas variables influyen en nuestro estudio y resulta difícil controlarlas con precisión durante la recopilación de datos estadísticos.

Temperatura de funcionamiento: Todas las mediciones se realizarán a temperatura normal de funcionamiento, para obtener un criterio más exacto y preciso del torque y las emisiones contaminantes.

Estado del vehículo: Consideramos esta variable como bloqueo, ya que diversos aspectos como la calibración de la bujía o cualquier elemento deteriorado puede influir en el rendimiento y toma de emisiones en nuestro experimento.

Las variables de bloqueo se representan en la (figura 18), donde se pueden observar factores de entrada, y de salida.

Figura 18*Variables de bloqueo**Nota: Diseño experimental. Tomado de autores.*

2.10.7. Mezcla de combustible

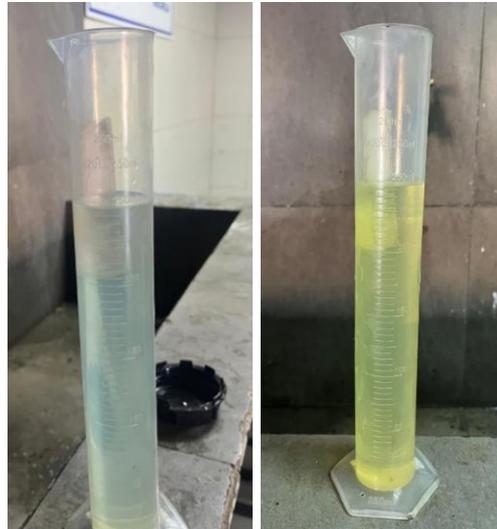
Para el estudio se empleará tres tipos de combustible: gasolina Eco, con un octanaje de 82; gasolina Súper, con 92; y una mezcla diseñada para alcanzar un octanaje de 87, obtenida mediante la combinación de un 70% de gasolina Súper y un 30% de gasolina Eco.

Se utilizó una probeta para garantizar una mezcla eficiente de ambos combustibles, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- a) Se preparó un volumen total de 2 galones de mezcla, equivalentes a 7580 ml.
- b) Mediante un cálculo proporcional directo, se determinó que el 70% del volumen total corresponde a 5306 ml de gasolina Súper. Esto equivale a llenar 21 probetas de 250 ml cada una.
- c) Para calcular el 30% restante correspondiente al combustible Eco, se restaron los 5306 ml de gasolina Súper del total de 7580 ml, obteniendo 2274 ml. Este volumen equivale a llenar 9 probetas de 250 ml.

Figura 19

Probeta de 250 ml (Eco)



Nota: Probeta de laboratorio para medición de combustible Super y Eco país para realizar las mezclas correctas: Obtenidas por los Autores.

2.10.8. Especificación del mini convertidor catalítico

A continuación, se detallará las especificaciones del mini convertidor catalítico para garantizar que se obtengan datos precisos y confiables durante las pruebas.

- **Validación del componente**

Previo a la instalación, se aseguró de que el componente sea compatible con el sistema de la motocicleta, verificando que contenga la conexión necesaria para el sensor de oxígeno.

Especificaciones:

Material confiable: Gracias a su construcción en acero inoxidable y tubos aluminizados, este convertidor es resistente al calor, la corrosión y la oxidación, lo que asegura que funcione bien incluso en condiciones difíciles y dure mucho tiempo.

Fácil de instalar: Ha sido diseñado y probado para encajar perfectamente con el sistema original, por lo que su instalación es rápida y sin complicaciones.

Compatibilidad: Este convertidor catalítico universal tiene una entrada y salida de 2 pulgadas y mide 11 pulgadas de largo.

2.10.9. Parámetros para la obtención de datos

Las pruebas buscan identificar tanto las ventajas como los posibles inconvenientes de incorporar este dispositivo en una motocicleta.

El estudio se realizará a la temperatura habitual de funcionamiento, asegurando que el mini convertidor catalítico opere de manera adecuada y nos brinde datos confiables. Realizaremos las pruebas en tres condiciones: ralentí, carga media y máxima capacidad, con el fin de obtener un análisis más completo.

➤ **Ralentí**

Rpm de referencia: 2000 rpm

Se realizar 8 pruebas a temperatura normales de funcionamiento

➤ **Media carga**

Rpm de referencia: 3500 rpm

Se realizar 14 pruebas a temperatura normales de funcionamiento

➤ **Máxima capacidad**

Rpm de referencia: 5000 rpm

Se realizar 8 pruebas a temperatura normales de funcionamiento

2.10.10. Preparación del área de trabajo

- Garantizar que el área de trabajo este organizada y limpia.
- Verificar que el analizador de gases y el banco dinamométrico se encuentre libre de contaminantes.

2.10.11. Materiales Necesarios

- Analizador de gases AGS-688

- Banco dinamométrico
- Mini convertidor catalítico
- Herramientas de soldadura
- Software para el análisis de datos
- Combustible Eco y Super
- Probetas
- Guantes de protección y gafas de seguridad
- Extintor de incendios (por seguridad)
- Área bien ventilada o campana de extracción

Figura 20

Colocación de la motocicleta en el banco dinamométrico



Nota: Banco dinamométrico utilizado durante la adquisición de datos. Fuente: Autores.

2.11. Procedimiento de las Pruebas

- Preparación del Motor.
- Colocar y asegurar la motocicleta en el banco dinamométrico.
- Utilizar el combustible Eco o Super para realizar las pruebas.

- Asegurarse de que el motor esté en condiciones óptimas para las pruebas, y que haya alcanzado su temperatura de funcionamiento; (95°C) aproximadamente.
- Examinar que el banco dinamométrico MAHA no contenga impurezas y se encuentre funcionando de manera correcta, para la obtención de datos.
- Comprobar que el analizador no contenga impurezas, que podrían afectar a la lectura de los gases.
- Determinar las velocidades de las marchas.
- Anotar los valores obtenidos (CO₂, CO, HC, NO_x, H₂O, KW, N) por el analizador de gases, y el banco dinamométrico.
- Realizar varias pruebas en ralentí, media carga y capacidad máxima con el fin de tener un análisis más preciso y eficiente.
- Para cada prueba se debe introducir la sonda por el sistema de escape aproximadamente 15 segundos, y retirarla para evitar posibles daños en los dispositivos.
- Determinar el torque en cada una de las condiciones establecidas.
- Instalar el mini convertidor catalítico.
- Realizar nuevamente las pruebas de emisiones y torque para posteriores análisis comparativos.

2.12. Establecer la velocidad en función de la marcha.

Antes de obtener los datos de potencia y emisiones, se determinó la velocidad de cada una de las marchas con variaciones en las revoluciones del motor, para poder obtener un rango de medición en el banco dinamométrico MAHA, obteniendo así la tabla 10.

Tabla 10

Variación de velocidad

N°	Marcha de velocidad	Revoluciones por minuto	Velocidad
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2000 rpm</i>	<i>9,17 Km/h</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2000 rpm</i>	<i>20,51 Km/h</i>
<i>3</i>	<i>5</i>	<i>2000 rpm</i>	<i>26,25 Km/h</i>
<i>4</i>	<i>1</i>	<i>3500 rpm</i>	<i>15,91 Km/h</i>
<i>5</i>	<i>3</i>	<i>3500 rpm</i>	<i>32,57 Km/h</i>
<i>6</i>	<i>5</i>	<i>3500 rpm</i>	<i>47,12 Km/h</i>
<i>7</i>	<i>1</i>	<i>5000 rpm</i>	<i>21,82 Km/h</i>
<i>8</i>	<i>3</i>	<i>5000 rpm</i>	<i>43,71 Km/h</i>
<i>9</i>	<i>5</i>	<i>5000 rpm</i>	<i>60,97 Km/h</i>

Nota: Obtención de la velocidad en función de las rpms. Tomado de autores.

2.13. Obtención de datos

Con el rango de velocidad establecido se procedió a determinar la potencia, fuerza y emisiones de la motocicleta Yamaha XTZ 150. Cabe destacar que las variaciones en los resultados están influenciadas por factores como el tipo de combustible empleado, la marcha seleccionada y la RPM que se encuentre el motor. También se aseguró que el motor este a temperatura normal de funcionamiento para la obtención de datos (Figura 21). A continuación, se presentan los datos obtenidos (Tabla 11).

Figura 21*Temperatura de funcionamiento del motor*

Nota: Monitoreo de la temperatura de funcionamiento del motor. Fuente: Autores.

Tabla 11*Pruebas de emisiones y potencia sin el mini convertidor catalítico*

N°	RPM	RON	Marcha	CO%	CO2%	HC (ppm)	O2%	NOx	Lambda	P (kW)	F(N)
1	2000	82	3	3.55	9.8	554	0.95	762	0.919	0.7	127
2	4000	82	3	2.58	11.3	144	0.13	555	0.916	2.2	170
3	2000	92	3	3.06	10.9	368	0.15	180	0.901	0.8	96
4	4000	92	3	3.18	11.5	169	0.31	157	0.913	2.6	215
5	2000	87	1	2.71	11.2	755	0.53	405	0.909	1.2	460
6	4000	87	1	2.34	12.2	153	0.34	196	0.944	2.9	419
7	2000	87	5	2.68	11	680	1.11	90	0.941	0.7	85
8	4000	87	5	0.17	15.8	141	0.26	291	1.004	2.7	162
9	3000	82	1	2.62	12.1	191	0.25	280	0.926	1.3	141
10	3000	92	1	0.03	15.5	421	0.29	141	1.011	0.4	112
11	3000	82	5	3.14	10.2	257	0.36	257	0.907	0.6	80
12	3000	92	5	3.6	10.7	204	0.35	151	0.898	0.6	86
13	3000	87	3	2.32	11.7	184	0.39	344	0.941	1.5	163

14	3000	87	3	2.27	11.8	102	0.46	370	0.948	1.8	184
15	3000	87	3	2.3	11.9	99	0.34	350	0.942	2	229

*Nota: Obtención de emisiones y potencian sin la instalación del mini convertidor catalítico.
Tomado de autores*

2.14. Instalación del mini convertidor catalítico en la motocicleta

El mini convertidor catalítico se ha establecido como una de las soluciones más eficaces para disminuir los gases contaminantes, desempeñando un papel fundamental en la reducción del impacto ambiental de los vehículos. En este sentido, el estudio actual se enfoca en la instalación y evaluación de un mini convertidor catalítico en la motocicleta Yamaha XTZ 150, con el objetivo de analizar su efectividad en la reducción de contaminantes y su influencia en el rendimiento del vehículo.

Su instalación incluye los siguientes procedimientos, diseñados para asegurar una adaptación adecuada y un funcionamiento óptimo.

- Se realizó una inspección visual del sistema de escape, para identificar el espacio disponible y los puntos de conexión adecuados para el mini convertidor catalítico. Esto incluyó mediciones de diámetro y longitud del tubo de escape.
- El mini convertidor catalítico fue inspeccionado para asegurar que no presentara daños o deformaciones, y se verificó que sus componentes internos estuvieran en condiciones óptimas.
- Se realizó una adaptación con materiales resistentes al calor y a la corrosión garantizando su durabilidad en condiciones de operación del motor.
- Se procedió a ensamblar el adaptador al tubo de escape mediante soldaduras o abrazaderas de alta resistencia, asegurando una fijación firme y sin fugas, para posteriormente poder colocar el mini convertidor catalítico.

- Se instaló un silenciador adicional por motivos estéticos, y para facilitar la recolección de datos.
- Finalmente se verificó que la modificación no interfiera con otros componentes de la motocicleta.

Figura 22

Adaptación del mini convertidor catalítico



Nota: Adaptación del mini convertidor catalítico en el sistema de escape de la motocicleta Yamaha XTZ 150: Tomado de Autores.

2.15. Obtención de datos post instalación del mini convertidor catalítico

Con la instalación del mini convertidor catalítico, se podrá determinar los cambios en las emisiones contaminantes, así como las posibles variaciones en el rendimiento general del motor. La obtención de datos se realizó bajo las mismas variaciones de combustible, marcha y revoluciones, con el propósito de garantizar una comparación más precisa y confiable. Este enfoque permite evaluar el desempeño del motor de manera uniforme, eliminando posibles discrepancias causadas por factores externos o inconsistencias en las condiciones de prueba. Además, se busca garantizar que los resultados reflejen de manera más objetiva el impacto de

las modificaciones implementadas en el sistema de la motocicleta. Para ello, se considerará la temperatura del catalizador (Figura 23), como un factor clave en la obtención de los datos.

Figura 23

Temperatura de funcionamiento del mini convertidor catalizador



Nota: Monitoreo de la temperatura del mini convertidor catalizador: Tomado de Autores.

Se utilizará los mismos equipos para determinar las para el análisis (Analizador de Gases AGS -688 y el Banco dinamométrico MAHA), este procedimiento es esencial para confirmar la eficacia del mini convertidor catalítico como una solución sostenible que reduce el impacto ambiental de las motocicletas. Con todos los parámetros ya establecidos se procedió a determinar la potencia, fuerza y emisiones; obteniendo así los siguientes datos (Tabla 12).

Tabla 12

Pruebas de emisiones y potencia con el mini convertidor catalítico

N°	RPM	RON	Marcha	CO%	CO2%	HC (ppm)	O2%	NOx	Lambda	P (KW)	F(N)
16	2000	82	3	3.55	9.8	205	0.95	21	0.919	0.7	3.34
17	4000	82	3	2.58	11.3	172	0.13	46	0.916	2.2	4.20
18	2000	92	3	2.97	10.8	182	1.08	13	0.936	0.7	3.34
19	4000	92	3	1.60	13.8	108	0.87	32	0.983	2.2	4.20
20	2000	87	1	0.64	14.2	259	0.74	42	1.002	0.9	4.30
21	4000	87	1	0.34	14.9	94	0.62	97	1.011	0.6	1.15
22	2000	87	5	4.37	7.6	200	1.80	52	0.916	0.5	2.39
23	4000	87	5	0.34	13.8	105	0.63	57	0.953	1.5	2.86
24	3000	82	1	2.62	12.1	160	0.25	35	0.926	1.3	3.55
25	3000	92	1	0.15	14.5	117	1.58	8	1.044	0.3	0.82
26	3000	82	5	3.14	10.2	120	0.36	49	0.907	0.6	1.64
27	3000	92	5	1.60	11.7	112	0.95	31	0.978	0.6	1.64
28	3000	87	3	0.24	14.2	98	1.21	332	1.036	0.8	2.18
29	3000	87	3	0.38	13.8	102	1.16	343	1.053	0.9	2.46
30	3000	87	3	0.29	14.3	99	1.39	349	1.044	0.7	1.91

Nota: Obtención de emisiones y potencias con la instalación del mini convertidor catalítico.

Tomado de autor

2.16. Determinación del torque

Para determinar el torque de la motocicleta, se utilizó la ecuación 8, considerando el valor de la potencia medida en el banco dinamométrico MAHA. obtuvieron los datos de la tabla 13.

Ecuación 8

$$\text{Torque (Nm)} = \frac{\text{Potencia(W)}}{\text{rpm} * \frac{2\pi}{60}}$$

Tabla 13

Torque de la motocicleta de pruebas

Torque (Nm)									
1) 3.34	6) 5.54	11) 1.64	16) 3.34	21) 1.15	26) 1.64				
2) 4.2	7) 3.34	12) 1.64	17) 4.2	22) 2.39	27) 1.64				
3) 3.82	8) 5.16	13) 4.09	18) 3.34	23) 2.86	28) 2.18				
4) 4.97	9) 3.55	14) 4.91	19) 4.2	24) 3.55	29) 2.46				
5) 5.73	10) 1.09	15) 5.46	20) 4.3	25) 0.82	30) 1.91				

Nota: Cálculo del torque para la motocicleta. Tabla obtenida por los autores

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo, se llevará a cabo un análisis y comparación de los resultados obtenidos mediante la implementación de un mini convertidor catalítico. Los catalizadores desempeñan un papel vital en los vehículos, ya que se encargan de reducir las emisiones, como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx). Su adecuado funcionamiento es fundamental para acatar con las normativas ambientales y asegurar que el motor opere de manera eficiente.

3.1. Evaluación de las características más relevantes

3.1.1. Análisis de residuos

Para poder validar la congruencia o adaptación del diseño experimental, se utiliza un gráfico de residuos, el cual presenta cuatro ilustraciones distintas, en una única ventana grafica. Estas gráficas nos presentan la normalidad de los residuos, resultado fundamental para analizar los datos en relación con diversas problemáticas, tales como la falta de normalidad, la presencia de variación no aleatoria, la falta de constancia en la varianza, y posibles relaciones de orden superior. Las gráficas presentadas contienen lo siguiente:

- a) **Histograma:** Proporciona una visión general de la distribución de los residuos, permitiéndonos visualizar la existencia de valores atípicos.
- b) **Gráfica de probabilidad normal:** Evalúa si los residuos siguen una distribución normal, detectando posibles influencias de otras variables.
- c) **Residuos versus valores ajustados:** Indica patrones sistemáticos que pueden generar errores en las especificaciones de este.
- d) **Residuos versus orden de los datos:** Muestra cómo los residuos varían en el orden en que se recopilaron los datos.

3.1.2. Análisis de efectos principales

Se considera que existe efectos principales cuando las mediciones de respuesta presentan cambios en los niveles de variable. Es decir, cuando su valor p es inferior a 0.05, por lo que se concluye que existe una influencia significativa en la respuesta, caso contrario no se observa ningún impacto.

3.1.3. Análisis de interacciones

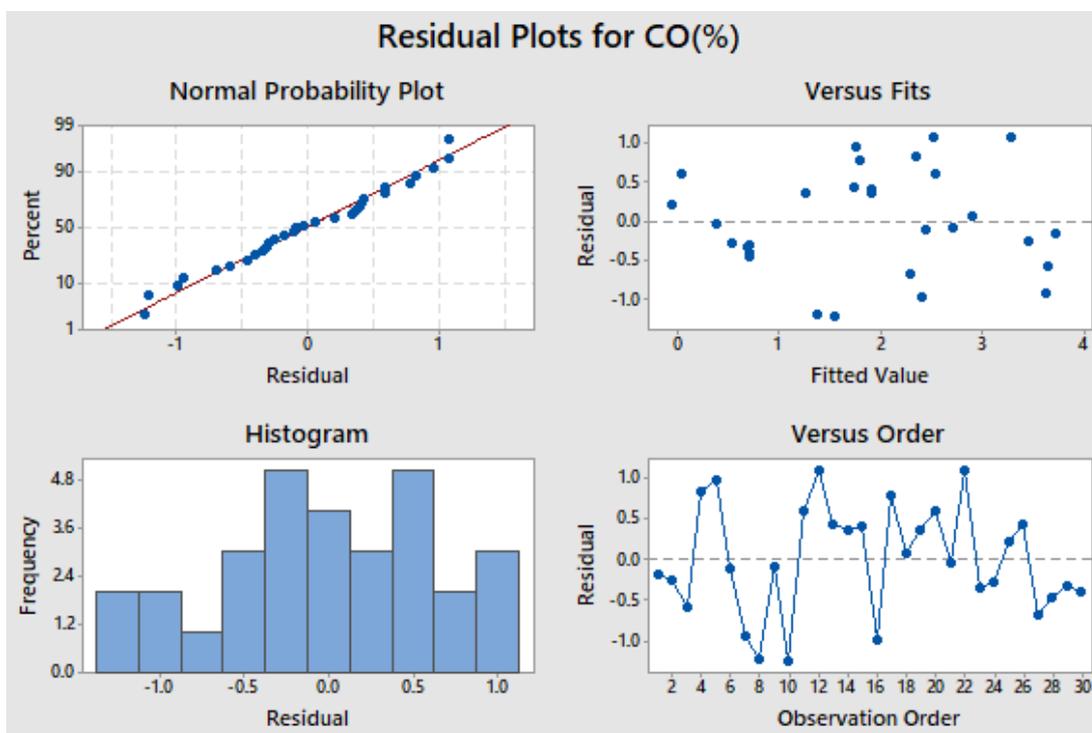
Permite evaluar como las variables independientes interactúan entres si en un modelo, y como estas interacciones afectan la variable de respuesta. Este análisis es fundamental en experimentos multifactoriales, donde se evalúa más de un factor simultáneamente. En los casos que existan más de tres variables relacionadas, se emplea representaciones graficas en forma de matriz.

3.2. Análisis de las características destacadas

Gráfica de residuos para los Monóxidos de Carbono (CO): En la Figura 24, el gráfico de probabilidad normal muestra que los datos se ajustan en gran medida con la línea de referencia, aunque se observan ligeras curvaturas en las colas que podrían indicar la presencia de valores atípicos. Esto se confirma en el histograma, cuya distribución no es completamente simétrica, debilitando parcialmente la hipótesis de normalidad de los residuos. Por otro lado, el gráfico de ajustes evidencia una dispersión aleatoria de los puntos, lo cual es ideal, ya que no se identifican patrones sistemáticos que afecten el modelo. En general, los gráficos confirman los supuestos de normalidad e independencia de los residuos, aunque la variabilidad en los extremos y la posible autocorrelación sugieren áreas a revisar para optimizar el modelo.

Figura 24

Gráfica de residuos para el monóxido de carbono

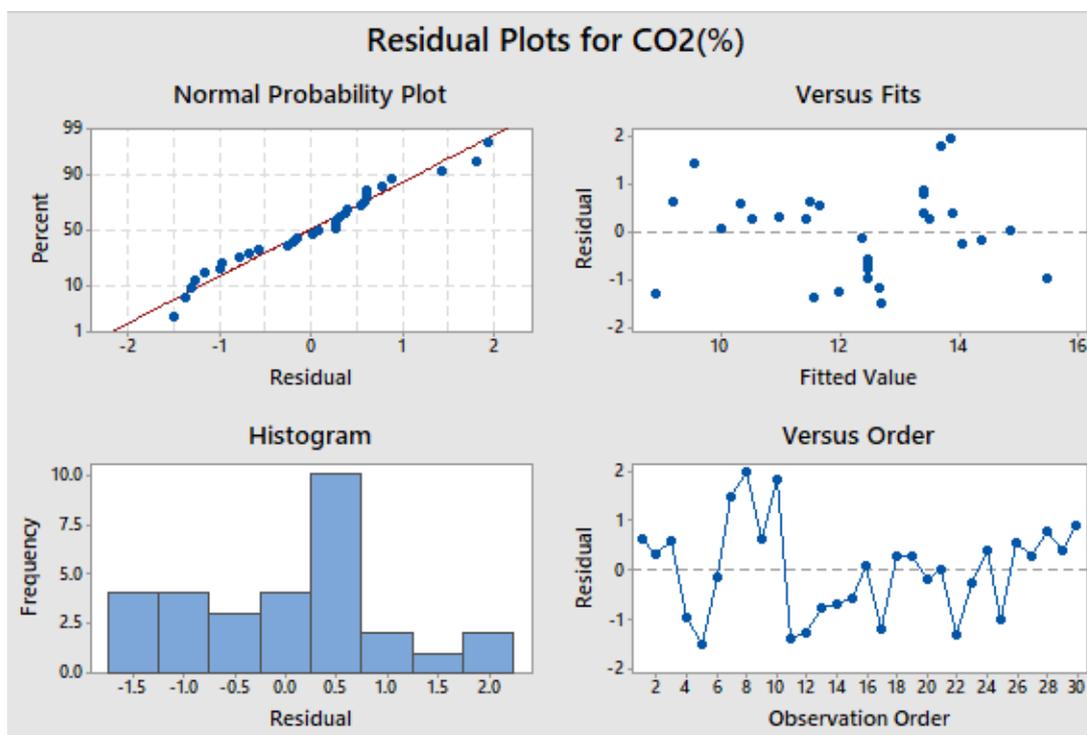


Nota: Gráficos de residuos para CO que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos para los Dióxidos de Carbono (CO₂): En la Figura 25, el gráfico de probabilidad normal evidencia que los datos no se ajustan adecuadamente a la línea de referencia, presentando curvaturas en las colas y una tendencia a sesgarse hacia un lado, lo cual sugiere la presencia de valores atípicos. Este comportamiento se confirma al analizar el histograma, que muestra una distribución asimétrica de los datos. Por otro lado, el gráfico de ajustes refleja una dispersión variable de los residuos, indicando una variabilidad no constante. En general, estos gráficos respaldan de manera razonable los supuestos de normalidad e independencia de los residuos.

Figura 25

Gráfica de residuos para el Dióxido de carbono

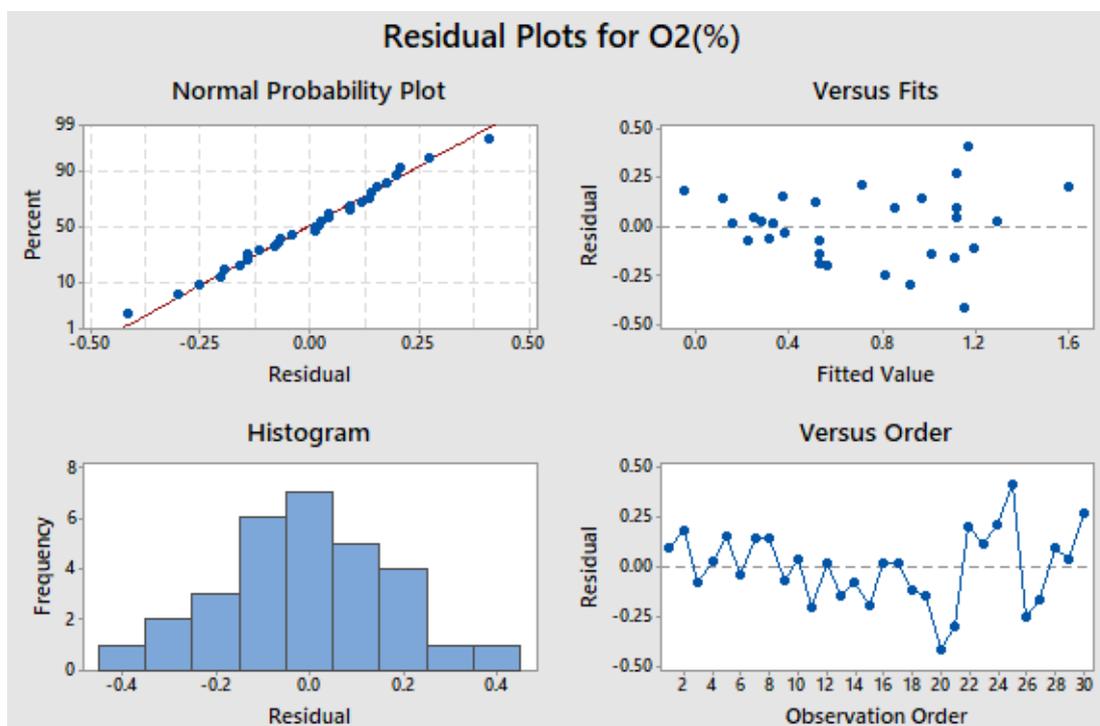


Nota: Gráficos de residuos para CO2 que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos para el Oxígeno (O2): En la figura 26, el gráfico de probabilidad normal muestra que los datos se adaptan con la línea de referencia, indicando la presencia de normalidad en los datos obtenidos. Por otra parte, el histograma presenta una forma simétrica, lo que respalda la normalidad de los residuos, finalmente el gráfico de ajustes revela la ausencia de un patrón definido resaltando que no hay problemas evidentes de heterocedasticidad. En conjunto, estos análisis sugieren que se cumplen los supuestos de independencia y normalidad, lo que valida la idoneidad del modelo para describir los datos de emisiones de O2.

Figura 26

Gráfica de residuos para el Oxígeno

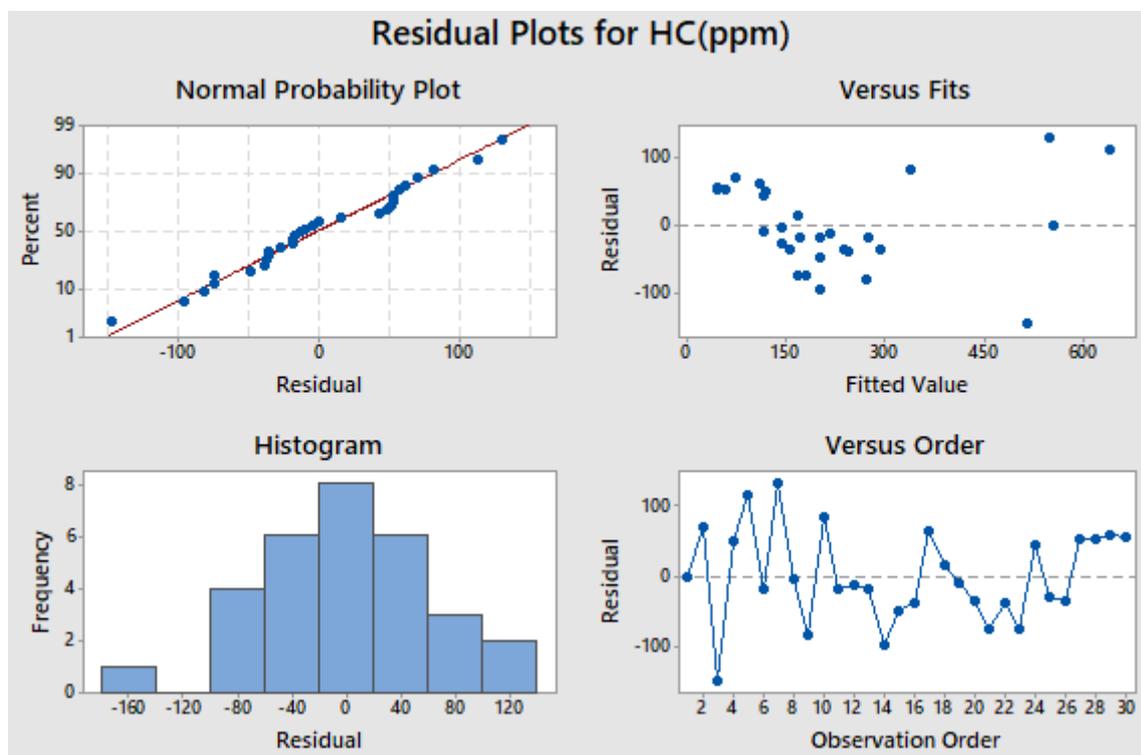


Nota: Gráficos de residuos para O₂ que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos para los Hidrocarburos no combustionados (HC): En la figura 27, el gráfico de probabilidad normal muestra que los datos no se ajustan completamente a la línea de referencia debido a la presencia de pequeños valores atípicos, probablemente originados por errores en la medición. Sin embargo, estos valores no representan un problema significativo, ya que el histograma evidencia una distribución simétrica, lo que sugiere que los datos siguen una distribución normal. Por otro lado, el gráfico de ajustes muestra una concentración de datos hacia la parte izquierda, indicando una variabilidad constante en los residuos. En conjunto, estos análisis respaldan la presencia de normalidad en los datos y confirman la idoneidad del modelo para describir las emisiones de hidrocarburos no combustionados.

Figura 27

Gráfica de residuos de hidrocarburos no combustionados

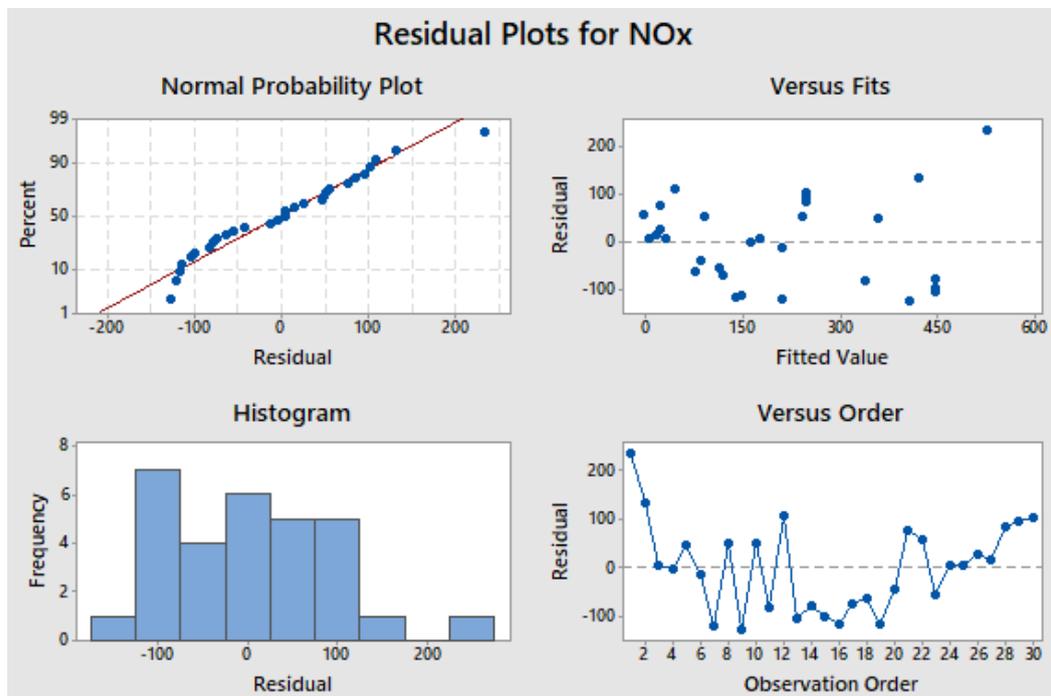


Nota: Gráficos de residuos para HC que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos de los Óxidos Nitrosos (NOX): En la figura 28, el gráfico de probabilidad normal indica que los datos se adaptan de una manera adecuada a la línea de referencia, aunque también contiene una tendencia de inclinación hacia abajo, lo que generalmente sugiere errores en la obtención de las muestras. En cuanto al histograma, se observa una distribución asimétrica, lo que podría debilitar ligeramente la hipótesis de normalidad. Por otro lado, el gráfico de ajustes revela una concentración de los datos en la parte izquierda, lo que sugiere la presencia de una variabilidad constante.

Figura 28

Gráfica de residuos para el Óxido nítrico

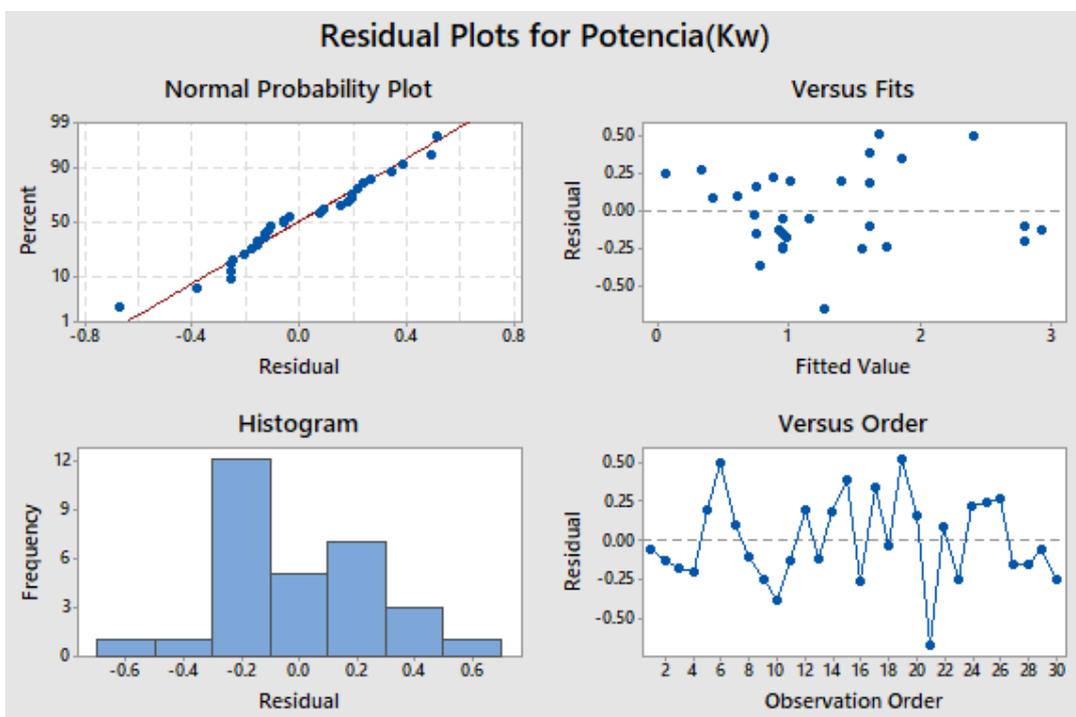


Nota: Gráficos de residuos para NOx que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos para la Potencia (KW): En la figura 29, el gráfico de probabilidad normal muestra una adaptación de los datos, de una manera consistente con la línea de referencia, lo que indica la presencia de normalidad. El gráfico de ajustes revela una dispersión de los datos alrededor de uno, lo que evidencia la ausencia de una variación no constante. Por otro lado, el histograma presenta una forma asimétrica, lo que podría ser causado por la presencia de valores atípicos o una insuficiencia en las muestras.

Figura 29

Gráfica de residuos para la Potencia

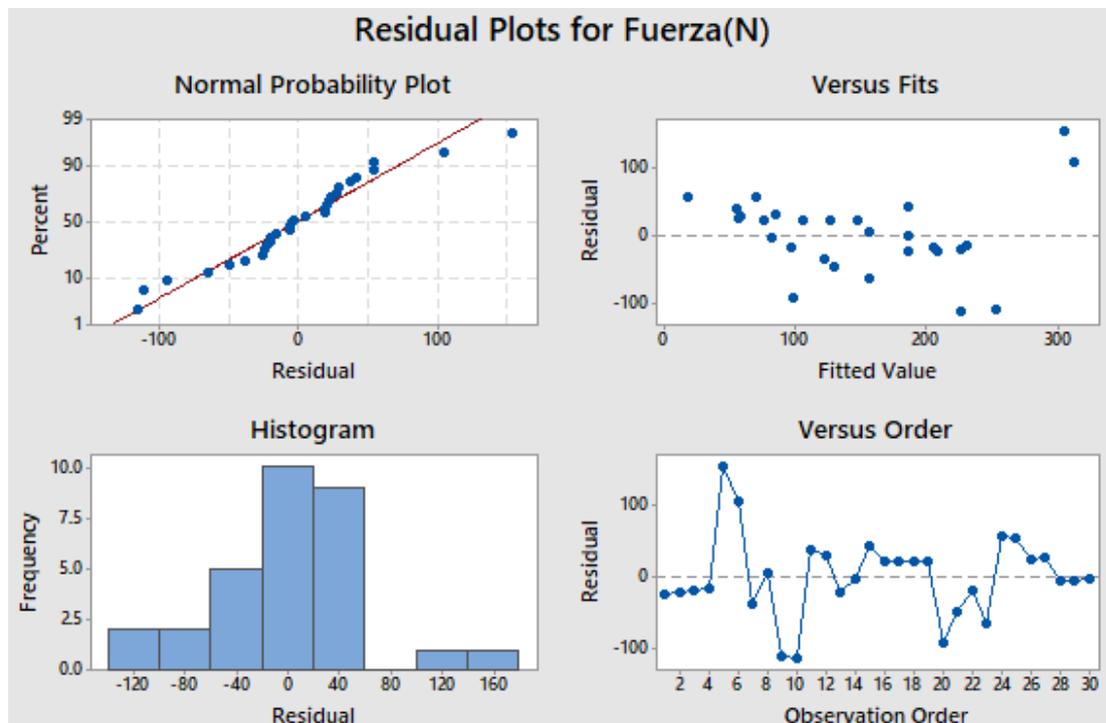


Nota: Gráficos de residuos para potencia que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos de la Fuerza (N): En la figura 30, el gráfico de probabilidad normal evidencia que los datos se alinean de manera consistente con la línea de referencia (línea roja), lo que indica que los residuos siguen una distribución normal. El gráfico de ajustes revela una dispersión de los datos, evidenciando cierta variabilidad no constante. Por otra parte, el histograma presenta una forma simétrica, lo que respalda la normalidad de los residuos. En conjunto, estos análisis sugieren que se cumplen los supuestos de independencia y normalidad, lo que valida la idoneidad del modelo para describir los datos de fuerza.

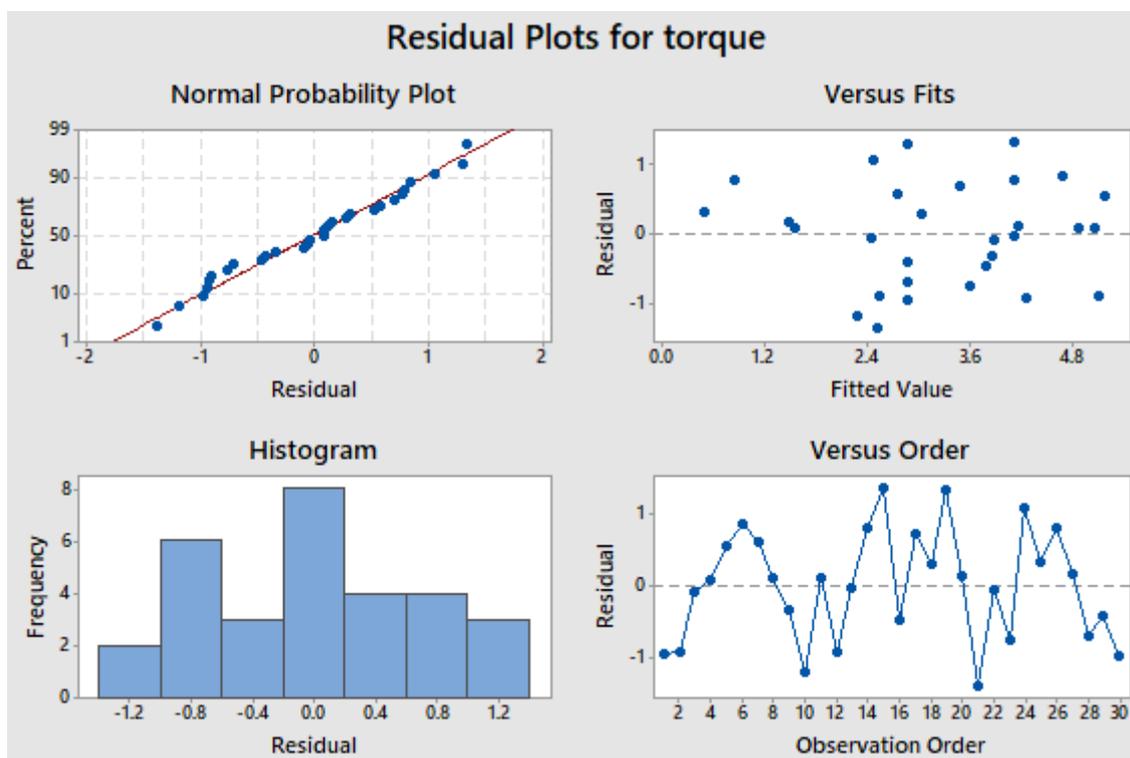
Figura 30

Gráfica de residuos de Fuerza



Nota: Gráficos de residuos para fuerza que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de residuos del Torque: En la Figura 31, el gráfico de probabilidad normal muestra que los datos se alinean de manera consistente con la línea de referencia, lo que sugiere que los residuos siguen una distribución normal. Sin embargo, se observan pequeñas curvaturas en las colas del gráfico, posiblemente causadas por errores en las mediciones. Por otro lado, el gráfico de ajustes evidencia una dispersión en los datos, lo que indica cierta variabilidad no constante a lo largo de las observaciones. Finalmente, el histograma presenta una ligera asimetría, lo que reduce en cierta medida la solidez de la hipótesis de normalidad. Estos resultados señalan que, aunque los datos se aproximan a una distribución normal, existen desviaciones menores que podrían ser relevantes para el análisis.

Figura 31*Gráfica de residuos del Torque*

Nota: Gráficos de residuos para el torque que evalúan normalidad. Obtenidas por los Autores.

Al evaluar las gráficas de residuos correspondientes a las emisiones y la potencia de la motocicleta, se observó que estos están distribuidos de manera adecuada alrededor del valor cero en la mayoría de los casos. Esto sugiere que no hay evidencia de correlación entre los términos de error.

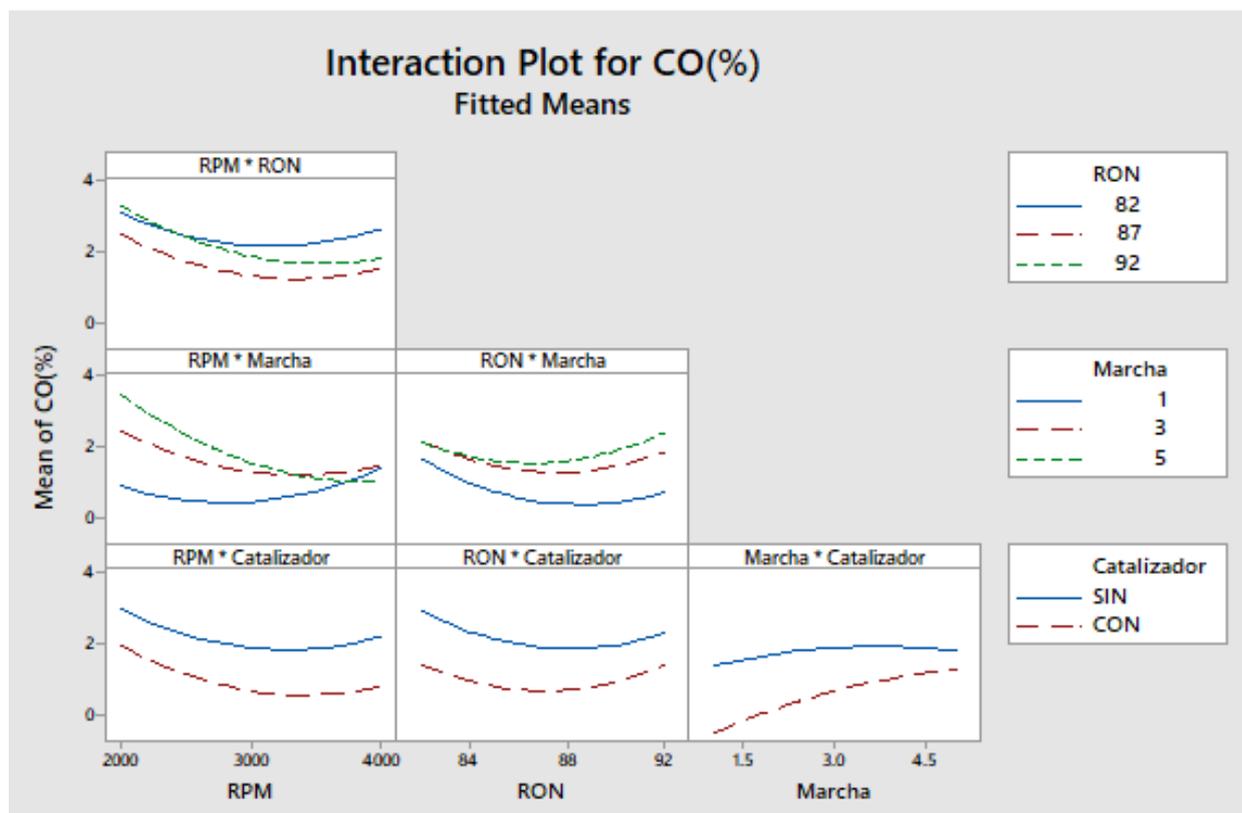
Además, las gráficas de probabilidad normal relacionadas con las emisiones y la potencia presentan ligeras curvaturas y sesgos en las colas. Este comportamiento podría atribuirse a que las ilustraciones se elaboraron con menos de 50 observaciones.

3.3. Análisis de Interacciones

Gráfica de interacción para el monóxido de carbono: En la figura 32, se visualiza las gráficas de interacción, resaltando la combinación RPM * MARCHA, debido a la divergencia evidente entre sus líneas. Al analizar el valor p de esta interacción, se obtuvo un resultado de 0,033, el cual es menor que el nivel de significancia α , lo que permite concluir que se trata de una interacción estadísticamente significativa. Asimismo, se observa que el catalizador tiene un impacto considerable en la reducción de las emisiones de monóxido de carbono, especialmente en condiciones de RPM, octanaje y marchas bajas.

Figura 32

Gráfica de interacciones del monóxido de carbono

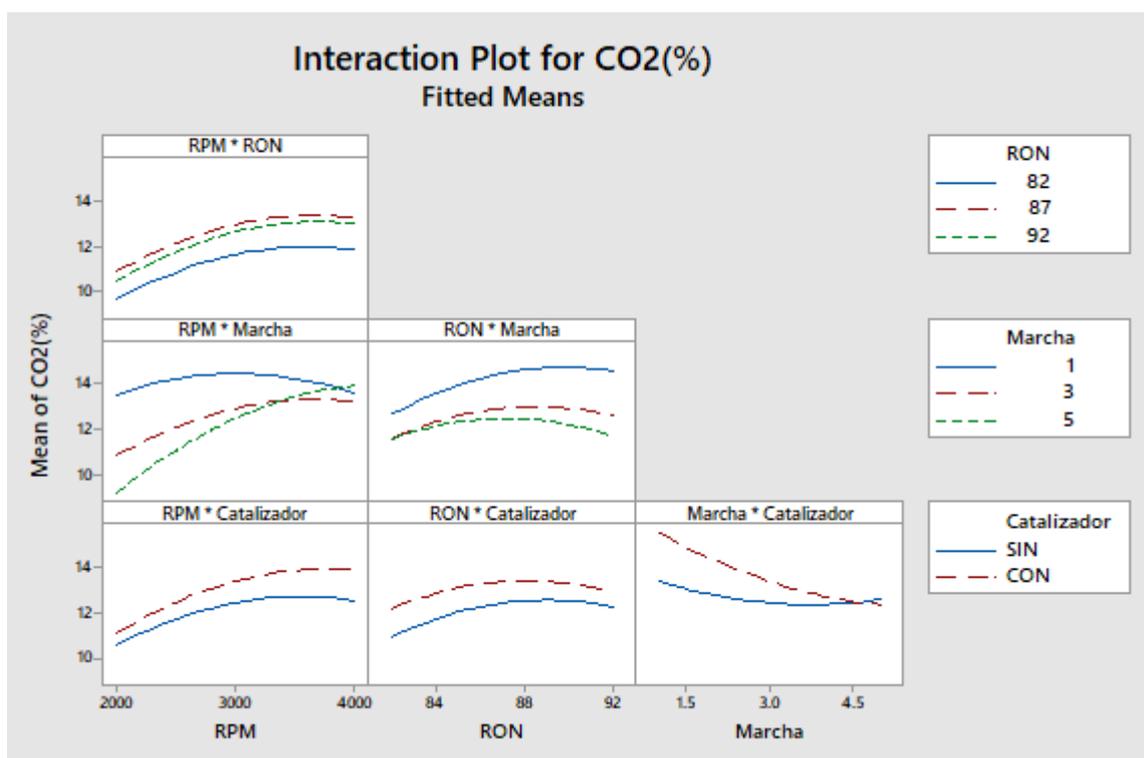


Nota: Interacciones de las variables entrada para el CO. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de interacción para el dióxido de carbono: En la figura 33, las interacciones más destacadas corresponden a las combinaciones RPM * Marcha, Marcha * Catalizador y RPM * Catalizador, evidenciadas por una clara falta de paralelismo entre las líneas, lo que sugiere una alta interacción entre estos factores. Para validar esta observación, se analizaron los valores p. En donde se encontró que la combinación RPM * Catalizador presenta un valor p superior a α , indicando que no es estadísticamente significativa. Por otro lado, las combinaciones RPM * Marcha y Marcha * Catalizador obtuvieron valores p de 0,018 y 0,008, respectivamente, confirmando que estas interacciones son significativas. Además, se analizó que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) aumentan de manera notable a altas RPM.

Figura 33

Gráfica de interacciones para el dióxido de carbono

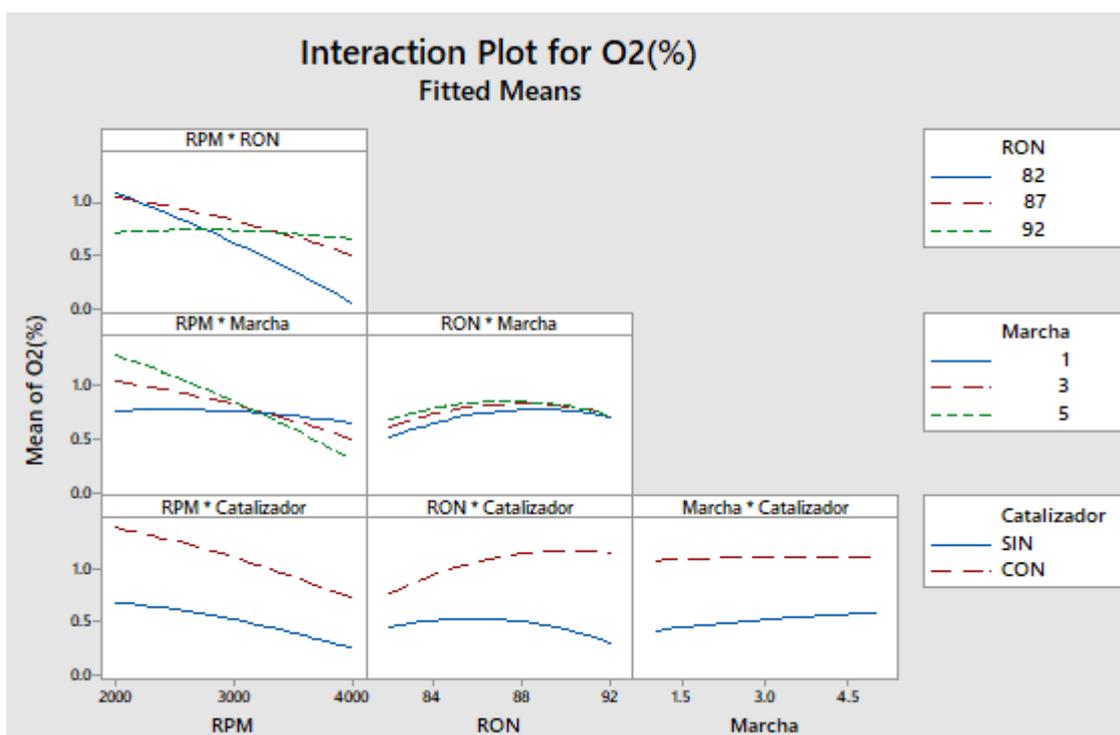


Nota: *Interacciones de las variables entrada para el CO₂. Obtenidas por los Autores.*

Gráfica de interacción para el oxígeno: En la figura 34, las interacciones más destacadas corresponden a las combinaciones RPM * RON y RPM * Marcha, evidenciadas por los cruces entre sus líneas, lo que indica una alta interacción entre estos factores. Para confirmar esta observación, se verificaron los valores p de ambas graficas, obteniendo 0,013 y 0,025, respectivamente. Estos valores, al ser menores que el nivel de significancia α , confirman la existencia de interacciones significativas. Por otra parte, se observó que, sin catalizador, las emisiones presentan un mayor contenido de oxígeno residual, lo que sugiere una combustión incompleta. En contraste, con la implementación del catalizador, se reduce la presencia de oxígeno, lo que evidencia una combustión más eficiente.

Figura 34

Gráfica de interacciones para el oxígeno

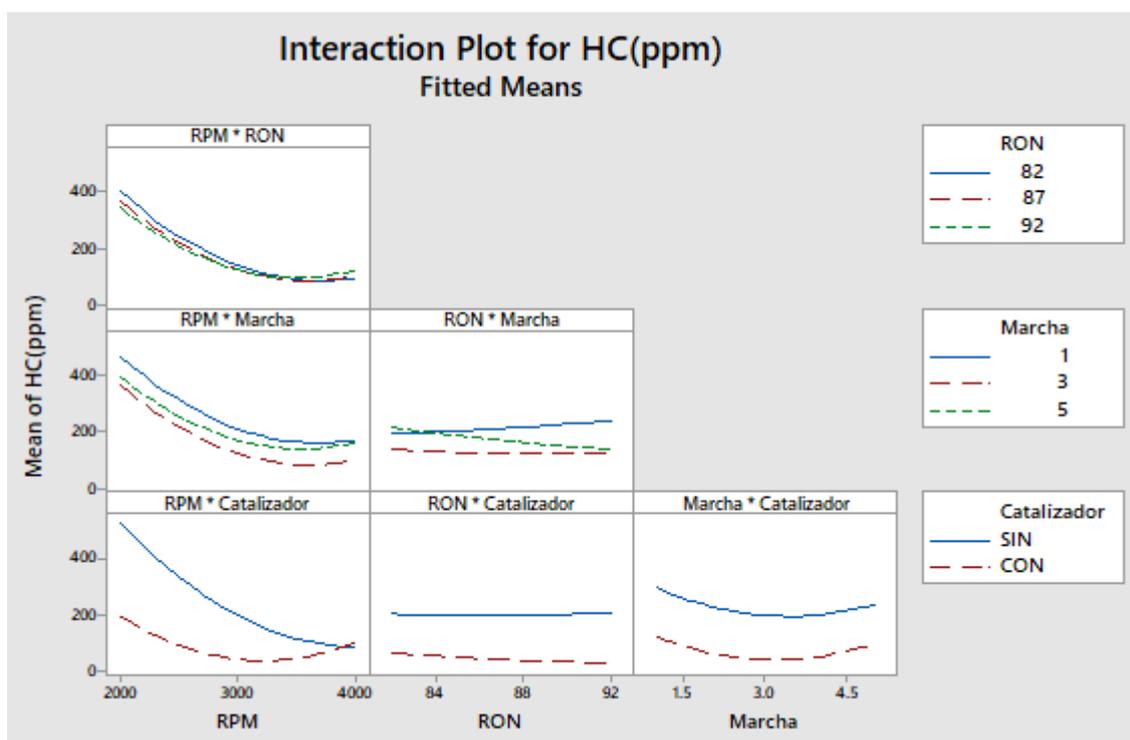


Nota: Interacciones de las variables entrada para el O2. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de interacción para los hidrocarburos no combustionados: En la figura 35, la interacción más destacada corresponde a la combinación RPM * Catalizador, evidenciada por una clara falta de paralelismo entre las líneas, lo que indica una interacción significativa entre ambos factores. Para confirmar esta observación, se verificó el valor p de la interacción, obteniendo un resultado de 0,001, el cual es menor que el nivel de significancia α . Esto reafirma la influencia conjunta de estos factores. Además, se observa que la implementación del mini convertidor catalítico logró una reducción significativa en las emisiones de hidrocarburos (HC). También se destaca que los niveles de contaminación por HC son menores cuando se utiliza un octanaje y marchas intermedias.

Figura 35

Gráfica de interacciones para los hidrocarburos no combustionados

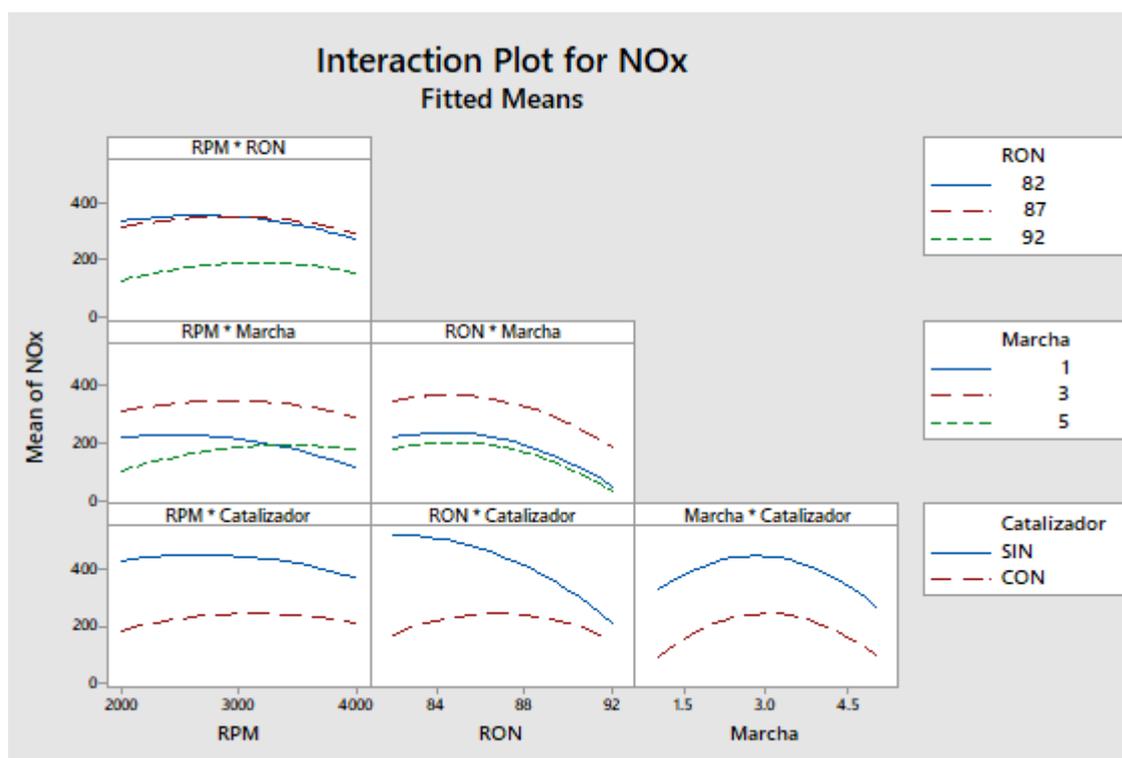


Nota: *Interacciones de las variables entrada para el HC. Obtenidas por los Autores.*

Gráfica de interacción para los óxidos nitrosos: En la figura 36, se presenta la gráfica de interacción, destacando la combinación RON * CATALIZADOR, evidenciando una clara falta de paralelismo entre las líneas, lo que indica una interacción significativa entre ambos factores. Este resultado se respalda con el valor p obtenido (0.029), que es menor al nivel de significancia α , confirmando que ambos factores trabajan en conjunto de manera significativa. Es importante destacar que en todos los aspectos se redujo las emisiones de óxidos nitrosos al momento de incorporar el mini convertidor catalítico, beneficiando de esta manera al medio ambiente.

Figura 36

Gráfica de interacciones para los óxidos nitrosos

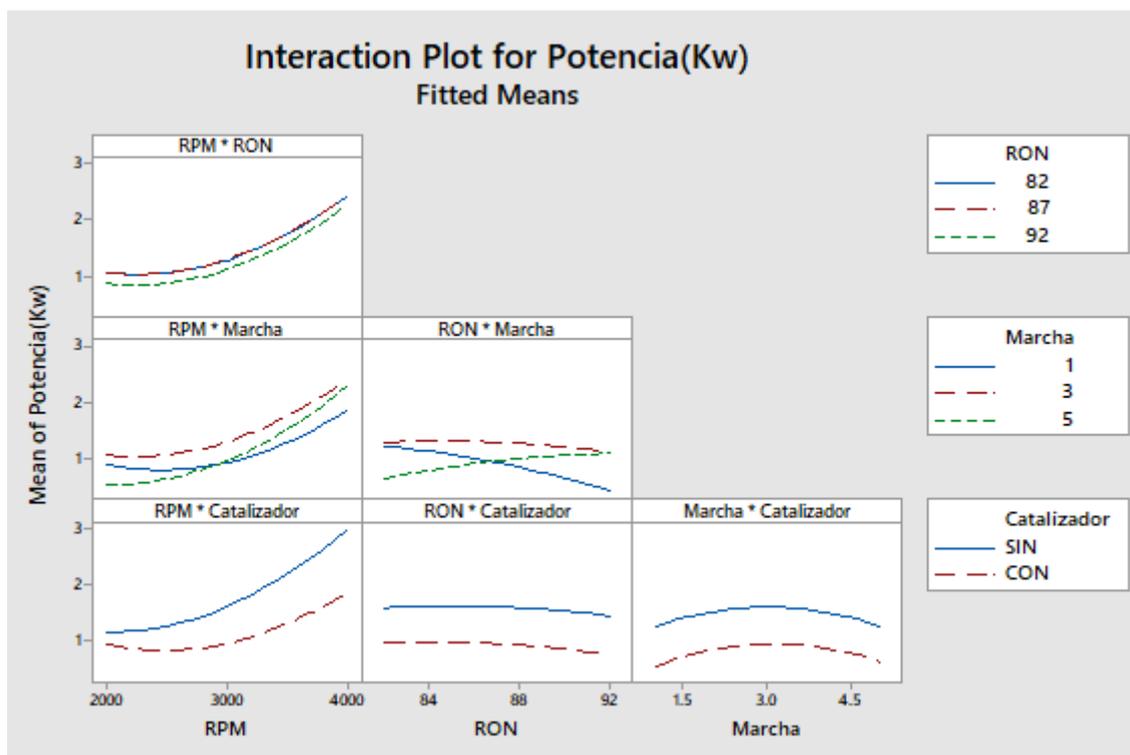


Nota: *Interacciones de las variables entrada para el NOx. Obtenidas por los Autores.*

Gráfica de interacción para la potencia: En la figura 37, las interacciones más destacadas corresponden a las combinaciones RON * Marcha y RPM * Catalizador, evidenciadas por una clara falta de paralelismo entre las líneas, lo que indica una interacción significativa entre estos factores. Al verificar los valores p correspondientes, se obtuvieron 0,028 y 0,029, respectivamente, lo que confirma la existencia de interacciones significativas, ya que ambos valores son menores que el nivel de significancia α . Es importante destacar que, en todos los escenarios, la implementación del mini convertidor catalítico redujo ligeramente la potencia de la motocicleta.

Figura 37

Gráfica de interacciones para la potencia

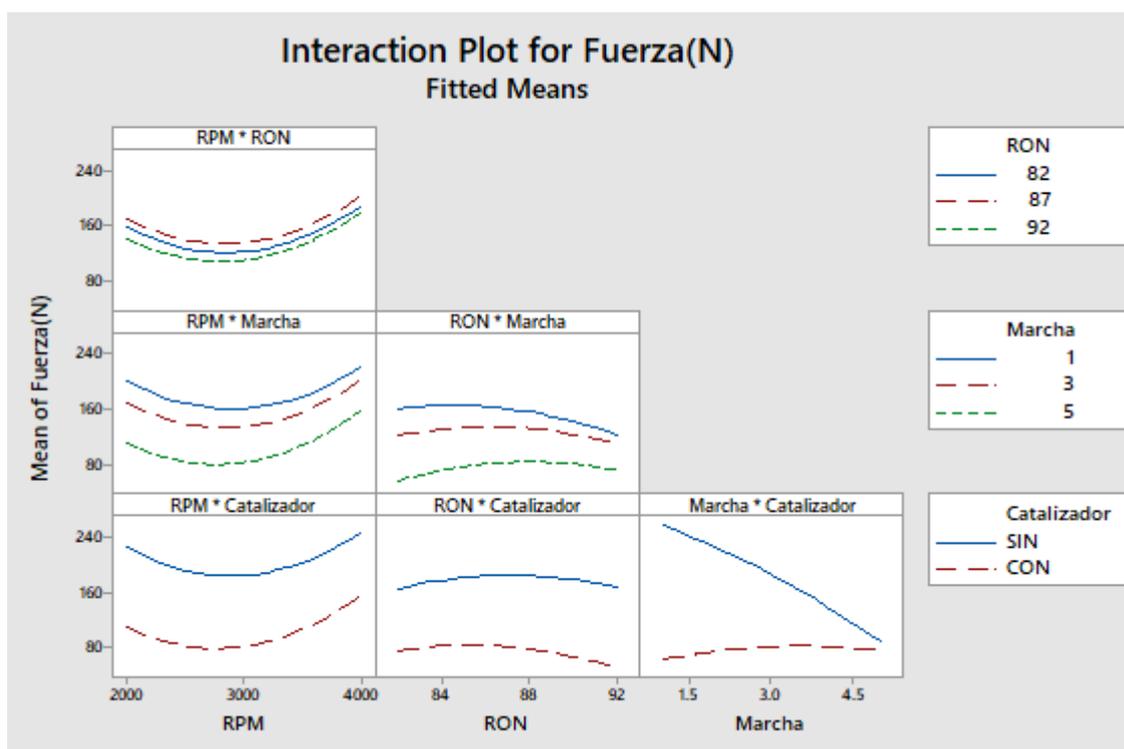


Nota: *Interacciones de las variables entrada para la potencia. Obtenidas por los Autores.*

Gráfica de interacción para la fuerza: En la figura 38, la interacción más destacada corresponde a la combinación MARCHA * CATALIZADOR, evidenciada por la clara divergencia entre sus líneas, lo que indica una alta interacción entre estos factores. Este comportamiento se confirmó al analizar el valor p de la gráfica, obteniendo un resultado de 0,029, el cual es menor que el nivel de significancia α , lo que permite concluir que se trata de una interacción significativa. Por otra parte, se observa que la incorporación del mini convertidor catalítico provoca una reducción tanto en la fuerza como en la potencia de la motocicleta.

Figura 38

Gráfica de interacciones para la fuerza

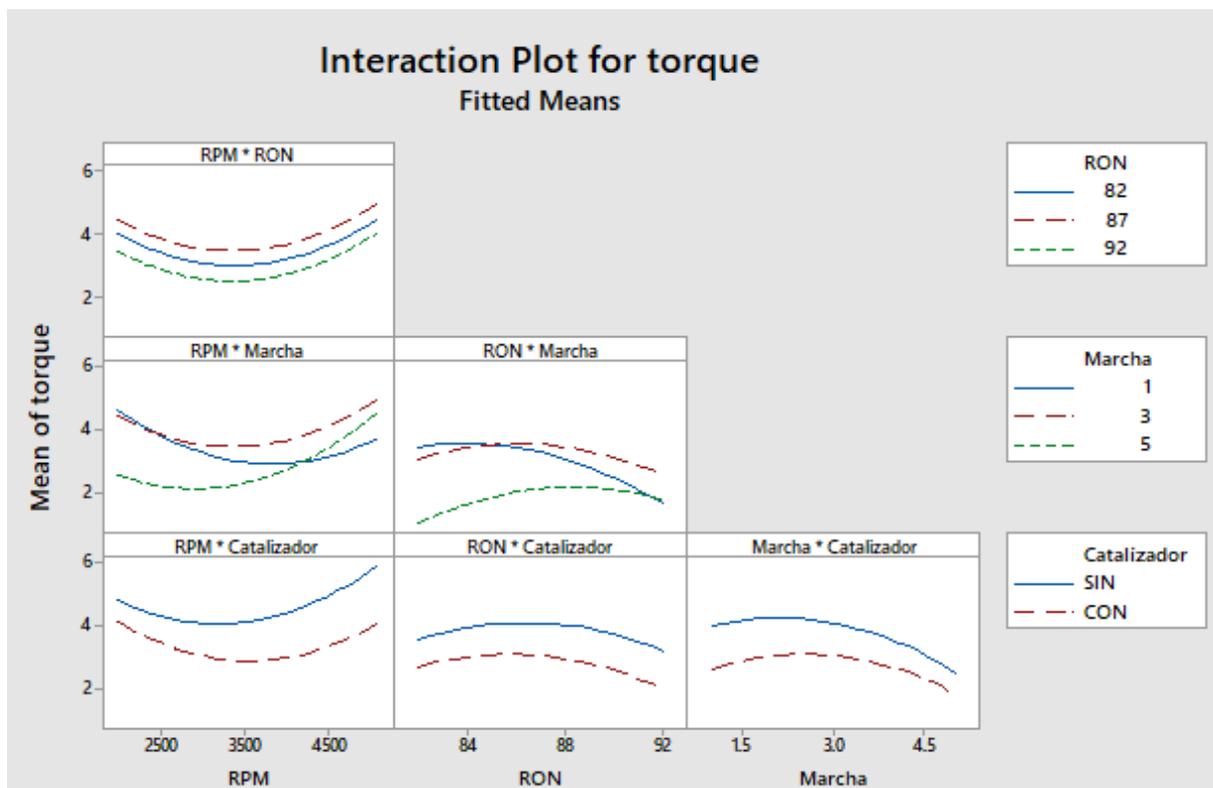


Nota: Interacciones de las variables entrada para la fuerza. Obtenidas por los Autores.

Gráfica de interacción para el Torque: En la figura 39, la interacción más destacada corresponde a la combinación RPM * MARCHA, evidenciada por la clara divergencia entre sus líneas, lo que se supone una alta interacción entre estos factores. Este comportamiento se comprobó al analizar el valor p de la gráfica, obteniendo un resultado de 0,067, el cual es mayor que el nivel de significancia α , lo que permite concluir que no contiene interacciones significativas. Además, se identifica que la incorporación del mini convertidor catalítico tiene un impacto en el desempeño de la motocicleta, específicamente una ligera reducción en el torque. Este efecto es consistente con lo observado previamente en los gráficos relacionados con la fuerza y la potencia.

Figura 39

Gráfica de interacciones para el torque



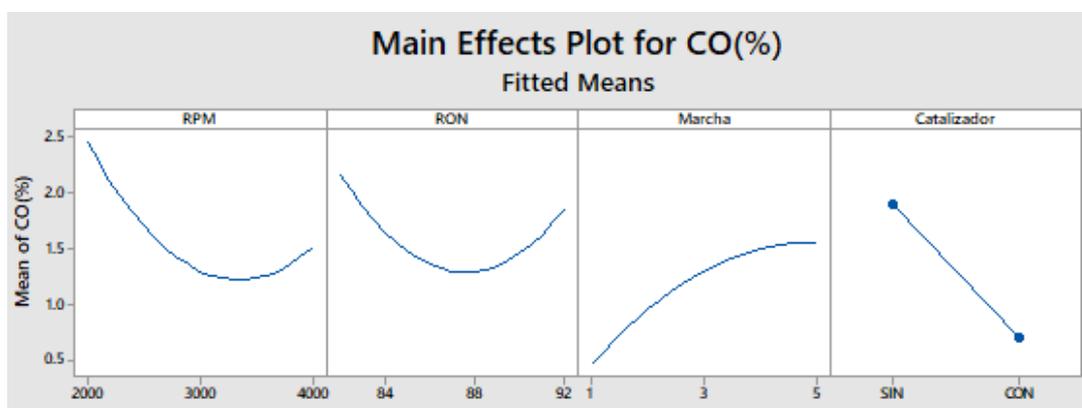
Nota: *Interacciones de las variables entrada para la fuerza. Obtenidas por los Autores.*

3.4. Análisis de efectos principales

Análisis de efectos principales para el Monóxido de Carbono: La figura 40, presenta un análisis gráfico que identifica a las RPM, la marcha y la presencia del catalizador como variables principales, ya que sus gráficas asociadas muestran una relación significativa con el eje X, es decir, no son horizontales. Este comportamiento se confirma mediante los valores p obtenidos: 0.047, 0.026 y 0.02, respectivamente. Con estos resultados se concluye que dichas variables tienen una influencia significativa en las emisiones de CO debido a que son menores al nivel de significancia establecido (α). Cabe destacar que la implementación del mini convertidor catalítico logro una reducción significativa en las emisiones de monóxido de carbono, lo que demuestra claramente su eficiencia.

Figura 40

Gráfica de efectos principales para el Monóxido de Carbono



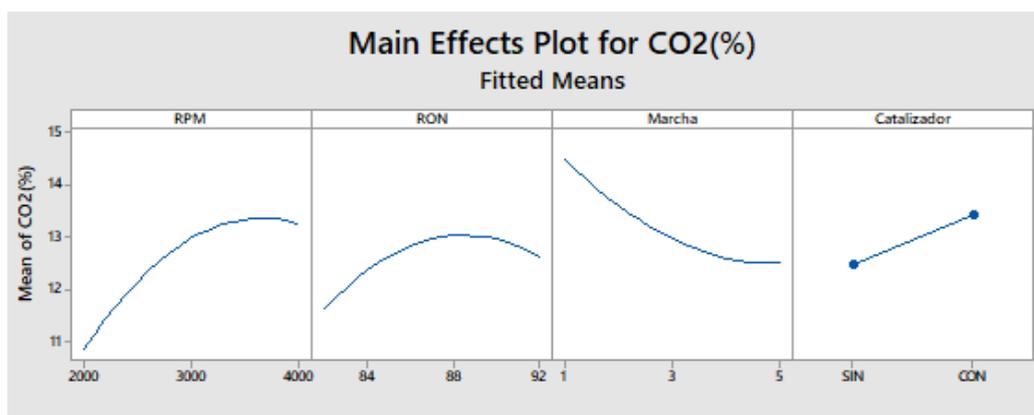
Nota: Efectos principales que sucede en el CO. Obtenidas por los Autores.

Análisis de efectos principales para el Dióxido de Carbono: La figura 41 muestra que el octanaje (RON) es la única variable que no tiene un impacto significativo, ya que su valor p (0.132) supera el nivel de significancia establecido (α). Por otro lado, se observa que, al usar marchas más altas, el motor trabaja con menor carga, lo que resulta en una disminución de las emisiones de CO₂. Además, gracias a la implementación del mini convertidor catalítico,

gases como HC y CO se transformaron en CO₂, aumentando ligeramente su presencia, pero con un efecto ambiental mucho menos dañino.

Figura 41

Gráfica de efectos principales para el Dióxido de Carbono

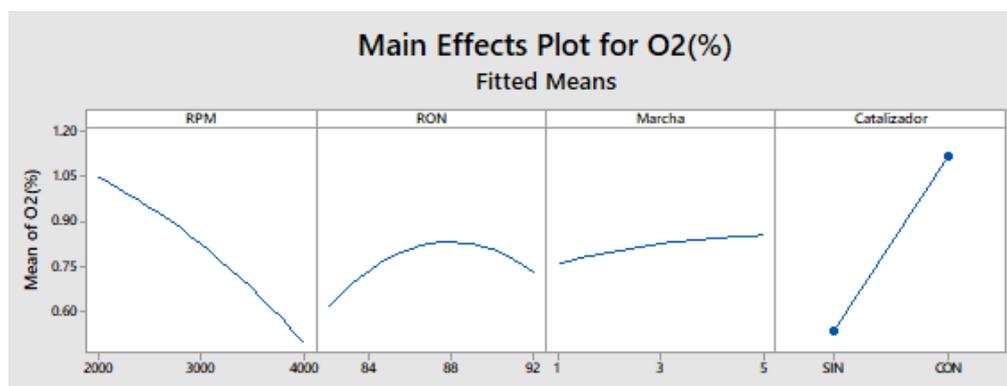


Nota: *Efectos principales que sucede en el CO₂. Obtenidas por los Autores.*

Análisis de efectos principales para el Oxígeno: La figura 42, resalta el análisis gráfico, identificando como variables principales las RPM, y la presencia del catalizador, debido a que sus ilustraciones no contienen paralelismo con respecto al eje X. Este comportamiento se verifica mediante los valores p obtenidos: 0.001 para ambas graficas. Concluyendo que las variables si influyen de manera significativa debido a que sus valores son menores al nivel establecido. Por otro lado, la ilustración de RPM muestra que a revoluciones más bajas aumenta el oxígeno debido a combustiones incompletas. En cuanto a la implementación del mini convertidor catalítico, se destaca, que está funcionando como se esperaba, permitiendo que parte del oxígeno no reaccionado quede en los gases de escape, lo cual es un indicativo de que contribuye a reducir la contaminación.

Figura 42

Gráfica de efectos principales para el Oxígeno

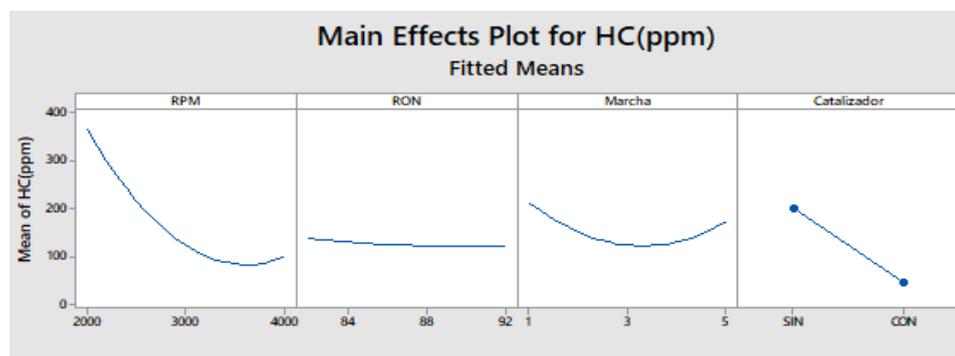


Nota: *Efectos principales que sucede en el O2. Obtenidas por los Autores.*

Análisis de efectos principales para los Hidrocarburos no Combustionados: La figura 43 muestra que las RPM, y la presencia del catalizador tienen un impacto significativo, ya que sus valores p (0.001 para ambas gráficas) son inferiores al nivel de significancia Alpha. Por otro lado, se observa que, al usar marchas altas y bajas, se generan más hidrocarburos, posiblemente debido a combustión incompleta en ciertas condiciones de carga. Además, al instalar el mini convertidor catalítico, las emisiones disminuyen drásticamente, confirmando su efectividad en la reducción de hidrocarburos no combustionados.

Figura 43

Gráfica de efectos principales para los Hidrocarburos no Combustionados

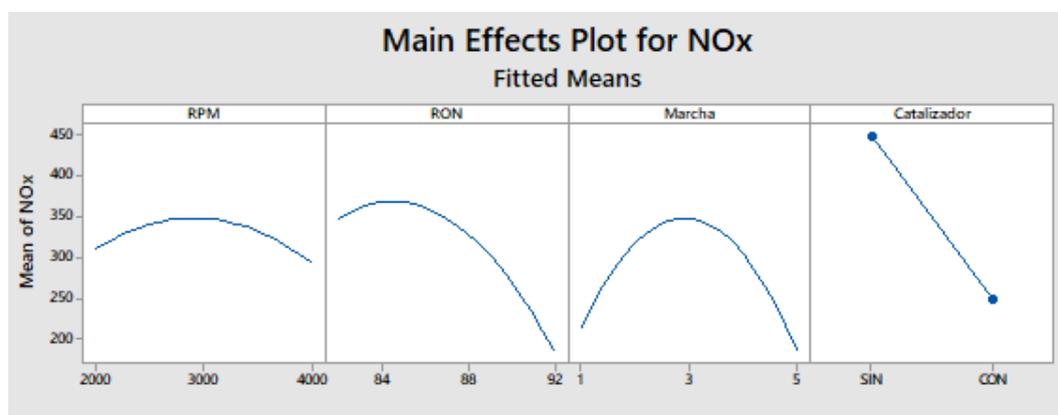


Nota: *Efectos principales que sucede en los HC. Tomado de Autores.*

Análisis de efectos principales para los Óxidos Nitrosos: La figura 44, presenta el análisis gráfico, resaltando como variables principales el octanaje (RON), y la presencia del catalizador, ya que su alcance en el eje Y es significativo y no presenta una perpendicularidad con respecto al eje X. Este comportamiento se respalda con los valores p (0.017 y 0.000), que indican una influencia estadísticamente significativa de ambas variables en la fuerza de la motocicleta, al cumplir con el nivel de significancia establecido (α). Además, se concluye que el uso de combustible con mayor octanaje contribuye a la reducción de óxidos de nitrógeno (NOx), gracias a las propiedades mejoradas del combustible. En cuanto al mini convertidor catalítico, su implementación demostró ser beneficiosa para el medio ambiente al reducir las emisiones contaminantes.

Figura 44

Gráfica de efectos principales para los Óxidos Nitrosos



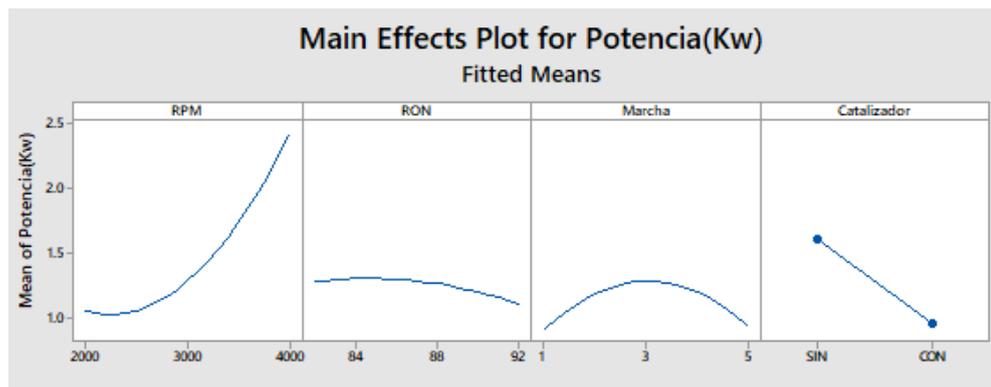
Nota: *Efectos principales que sucede en los NOx. Obtenidas por los Autores.*

Análisis de efectos principales para la Potencia: La figura 45 resalta el análisis gráfico, identificando al octanaje (RON) y la marcha, como variables que no afectan significativamente este aspecto, ya que sus ilustraciones permanecen paralelas al eje X. Este análisis se confirma mediante los valores p obtenidos: 0,353 y 0,840, respectivamente. Dado que ambos valores superan el nivel de significancia establecido (α), se concluye que no tienen

un impacto estadísticamente significativo en la potencia de la motocicleta. Por otro lado, se destaca que la implementación del mini convertidor catalítico resultó en una reducción mínima de potencia.

Figura 45

Gráfica de efectos principales para la Potencia

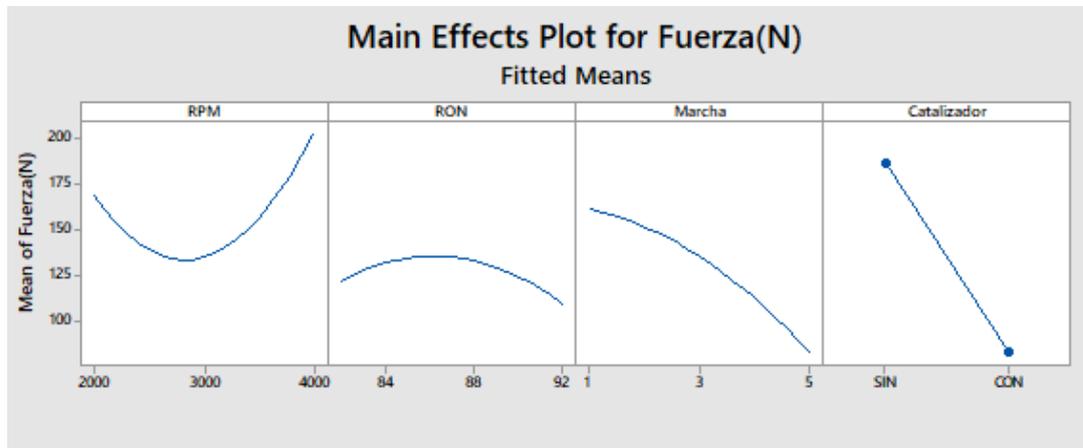


Nota: *Efectos principales que sucede en la Potencia. Obtenidas por los Autores.*

Análisis de efectos principales para la Fuerza: La Figura 46, presenta el análisis gráfico, señalando como variables principales la presencia del catalizador, y aunque la marcha no sigue una dirección perpendicular al eje X, se puede deducir que también es un factor representativo. Esto lo respaldamos analizando los valores p obtenidos: 0.002, 0.057 respectivamente. Con estos resultados se asume que la variable del catalizador si tiene una influencia significativa en la fuerza, debido a que su resultado es menor al nivel de significancia establecido (α), en cambio la variable de marcha no contiene los aspectos estadístico necesario para contener significancia en este parámetro. Asimismo, se resalta la implementación del mini convertidor catalítico generó una reducción mínima de fuerza.

Figura 46

Gráfica de efectos principales para la Fuerza

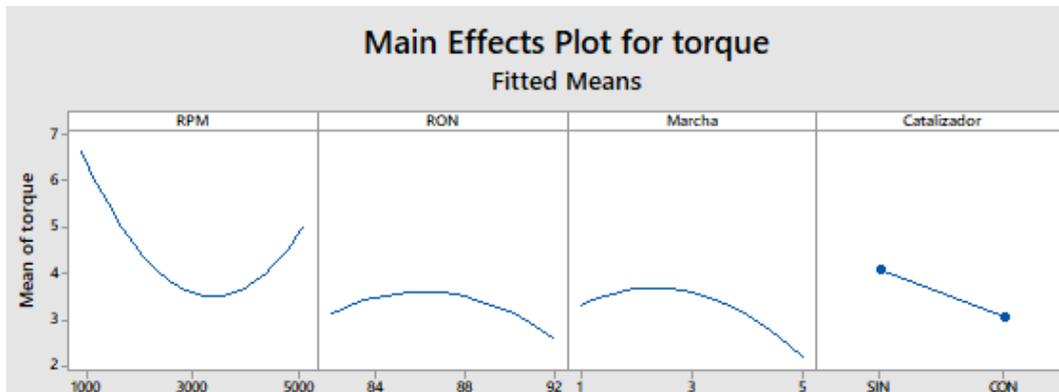


Nota: Efectos principales que sucede en la Fuerza. Obtenidas por los Autores.

Análisis de efectos principales para el Torque: La figura 47 presenta un análisis gráfico que destaca dos variables principales: la presencia del catalizador y la marcha. Al igual que en los gráficos de potencia y fuerza, estas variables no muestran una tendencia clara en relación con la dirección del eje X. Esta conclusión se respalda con los valores p obtenidos: 0.021 para el catalizador y 0.057 para la marcha. Con base en estos resultados, se determina que el catalizador tiene una influencia estadísticamente significativa en la fuerza, ya que su valor p es menor que el nivel de significancia establecido (α). En contraste, la variable de la marcha no presenta el respaldo estadístico necesario para considerarse significativa en este parámetro.

Figura 47

Gráfica de efectos principales para el Torque



Nota: Efectos principales que sucede en el torque. Obtenidas por los Autores.

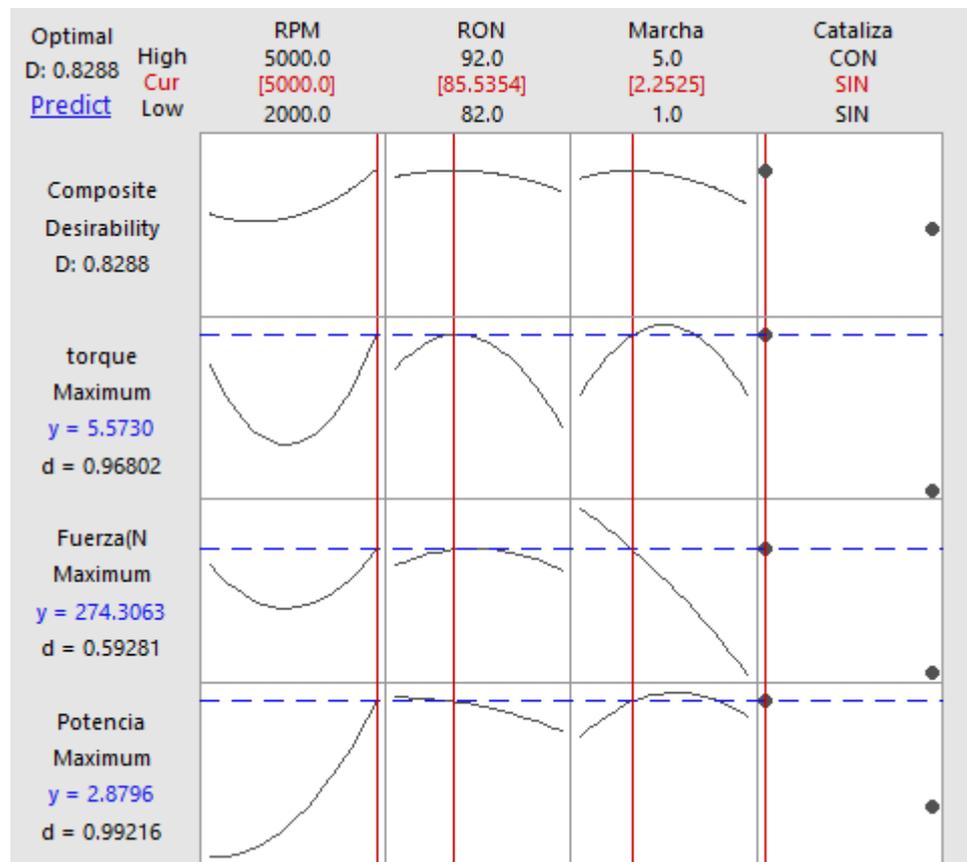
3.5. Optimización de máxima potencia, fuerza, y torque

Para lograr la mayor potencia, fuerza, y toque de la motocicleta, se realizó un proceso de optimización usando el software Minitab (figura 48). El estudio se enfocó en probar diferentes combinaciones de factores para encontrar las condiciones que favorecen el desempeño máximo del motor. Concluyendo que, los mejores resultados se obtienen al operar la motocicleta a 5000 rpm, con combustible con octanaje intermedio, en segunda marcha y sin el mini convertidor catalítico.

Este conjunto de condiciones demostró ser el más eficiente, ya que permite que el motor funcione con mayor libertad, sin restricciones en el sistema de escape, lo que mejora tanto la combustión como el flujo de gases. Además, al elegir un octanaje adecuado, se evita la pre-ignición y se optimiza la entrega de potencia sin poner en riesgo el motor. Aunque prescindir del mini convertidor catalítico incrementa ligeramente el rendimiento, también genera más emisiones, lo que resalta la necesidad de equilibrar el rendimiento con la responsabilidad ambiental.

Figura 48

Optimización de la fuerza, potencia y torque.



Nota: *Optimización para la fuerza, potencia, y torque en la motocicleta. Obtenidas por los Autores.*

3.6. Optimización de mínimas emisiones de CO, NOx, y HC

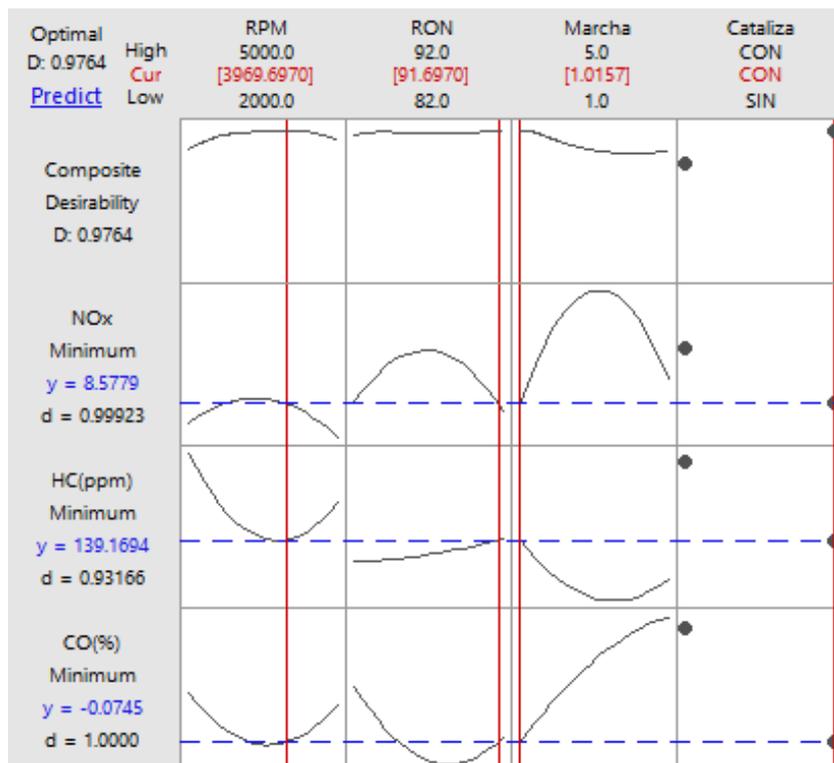
Para reducir al máximo las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos de hidrocarburos (HC), se llevó a cabo un análisis detallado utilizando el software Minitab, (figura 49). Este proceso permitió evaluar diferentes configuraciones para encontrar las condiciones ideales que favorecieran un menor impacto ambiental.

Los resultados del análisis revelaron que las mejores condiciones para minimizar las emisiones se logran al operar la motocicleta a 3969 rpm, con combustible de 92 octanos, en

primera marcha y con la incorporación del mini convertidor catalítico. Este último componente resultó clave, ya que contribuyó significativamente a la reducción de contaminantes al mejorar la eficiencia del sistema de escape.

Figura 49

Optimización para minimizar las emisiones de CO, NOx, y HC



Nota: Optimización para minimizar las emisiones de CO, NOx, y HC en la motocicleta de pruebas. Obtenidas por los Autores.

3.7. Análisis del torque

Tras la implementación del mini convertidor catalítico, se identificó una ligera pérdida de torque, la cual fue confirmada a través de los análisis de interacción y efectos principales. Esta disminución quedó claramente reflejada en los resultados obtenidos. Para cuantificar el porcentaje de reducción, se empleó el software Excel, aplicando un cálculo proporcional directo (tabla 14).

Tabla 14*Análisis de la reducción del torque*

Torque		
N°	Sin Catalizador	Con catalizador
1	3.34 Nm	3.34 Nm
2	4.2 Nm	4.2 Nm
3	3.82 Nm	3.34 Nm
4	4.97 Nm	4.2 Nm
5	5.73 Nm	4.8 Nm
6	5.54 Nm	4.25 Nm
7	3.34 Nm	2.39 Nm
8	5.16 Nm	4.6 Nm
9	3.55 Nm	3.55 Nm
10	1.09 Nm	0.82 Nm
11	1.64 Nm	1.64 Nm
12	1.64 Nm	1.64 Nm
13	4.09 Nm	3.7 Nm
14	4.91 Nm	3.5 Nm
15	5.46 Nm	4.6 Nm
Promedio	3.90 Nm	3.37 Nm
Porcentaje	100%	14%

Nota: Obtenido por los autores.

CONCLUSIONES

- El estudio de los resultados obtenidos demuestra que la adaptación del mini convertidor catalítico es efectiva, logrando una significativa reducción en las emisiones contaminantes. Específicamente, se registraron disminuciones del 58% en hidrocarburos (HC), 48% en óxidos de nitrógeno (NO_x), y 33% en monóxido de carbono (CO). Para optimizar el modelo, se empleó el software Minitab, determinando que, a 3969 rpm, con combustible de 92 octanos, en segunda marcha y con la incorporación del mini convertidor catalítico, se logra una reducción significativa de contaminantes, contribuyendo de manera favorable a la protección del medio ambiente.
- De manera similar, se analizó el torque de la motocicleta para evaluar el impacto de la incorporación del mini convertidor catalítico en su desempeño mecánico. Los resultados indican que esta adaptación genera una reducción del 14% en el rendimiento normal del torque de la motocicleta de 3.90 Nm a 3.37 Nm. Este efecto puede atribuirse a la ligera restricción en el flujo de gases de escape provocada por el convertidor catalítico, que afecta la eficiencia de expulsión de gases en el motor.
- No obstante, se destaca que esta disminución en el torque es compensada por los beneficios ambientales obtenidos, como la significativa reducción en los gases contaminantes (HC, NO_x y CO).
- En cuanto al análisis de interacción, se determinó que la interacción más significativa se da entre la incorporación del mini convertidor catalítico y las principales variables de entrada. Este resultado evidencia una reducción notable en las emisiones dañinas, confirmando la efectividad del sistema en condiciones de un régimen intermedio de revoluciones por minuto (3969 rpm), utilizando un combustible de alto octanaje y con marchas intermedias, lo cual genera una combustión más completa y un mejor rendimiento en las reacciones químicas del convertidor.

RECOMENDACIONES

- Con base en los datos obtenidos en las pruebas estáticas, se recomienda complementar el análisis con evaluaciones en condiciones reales de uso, considerando los factores de peso del piloto, la altitud y las condiciones climáticas para validar el rendimiento del convertidor catalítico en escenarios diversos. Este enfoque no solo permitirá realizar comparaciones, sino que también garantizará la eficacia y adaptabilidad del sistema en contextos reales.
- Se recomienda realizar investigaciones futuras orientadas a la integración de tecnologías complementarias, como sistemas de recirculación de gases de escape (EGR) o filtros de partículas, que trabajen en conjunto con el mini convertidor catalítico para lograr niveles aún más bajos de emisiones contaminantes Fomento de prácticas de conducción sostenible: Capacitar a los conductores sobre prácticas de manejo eficientes que eviten altas cargas o aceleraciones bruscas, las cuales pueden aumentar las emisiones y reducir la vida útil del catalizador.
- Mediante el análisis del torque, se identifica la necesidad de realizar investigaciones orientadas a compensar las pérdidas asociadas con el uso del convertidor catalítico. Esto podría incluir modificaciones en la sincronización del motor. Implementando esta mejora contribuiría a lograr un equilibrio óptimo entre el rendimiento mecánico de la motocicleta y su sostenibilidad ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Acres, G., y Harrison, B. (2004). The development of catalysts for emission control from motor vehicles: early research at Johnson Matthey. *Topics in Catalysis*, 28, 3-11.
- AEADE. (2023). *BOLETIN DE VENTAS*. CUENCA: AEADE. https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2024/01/BOLETIN-VENTAS_PRENSA_ENERO-2024.pdf
- Azam, T. (12 de marzo de 2022). *Beastraiders*. <https://beastriders.com/do-motorcycles-have-catalytic-converters/>
- Cooper, B. (2004). Platinum Matthey.
- CORDIS. (6 de 03 de 2017). *Development of NEXT GENeration cost efficient automotive CATalysts*. Comision Europea: <https://cordis.europa.eu/article/id/152038-towards-nanotechnologybased-catalytic-converters-for-the-automotive-industry/es>
- Crolla, D. A. (2019). *Advanced Vehicle Technology*. Butterworth-Heinemann.
- EPA. (30 de 05 de 2024). *Emisiones de óxido nitroso*. EPA: [https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-oxido-nitroso#:~:text=El%20%C3%B3xido%20nitroso%20es%20un,control%20de%20la%20poluci%C3%B3n%20\(p](https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-oxido-nitroso#:~:text=El%20%C3%B3xido%20nitroso%20es%20un,control%20de%20la%20poluci%C3%B3n%20(p)
- Ganesan, V. (2017). *Internal Combustion Engines*. McGraw-Hill Education.
- Harris, D. (2020). *Vehicle Dynamics and Control*. Springer.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*.
- INEN_2204. (2024). *Inspección de Vehículos Automotores bajo Reglamentos Técnicos INEN*. Servicio ecuatoriano de normalización: <https://www.normalizacion.gob.ec/inspeccion-de-vehiculos-automotores-bajo-reglamentos-tecnicos-inen/>
- Johnston, M. C. (2020). *Catalytic Converters: Theory and Operation*. Elsevier.
- Keller, T. &. (2019). *Diesel Engine Emissions and Control Systems*.
- Martínez Rivera, N. I. (2015). *“ANÁLISIS TÉRMICO Y MODAL DE UN CONVERTIDOR CATALÍTICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, Nuevo Leon.

- Miranda Vizúete, D. C. (2016). *Metodología de pruebas y su aplicación, para el diagnóstico de convertidores catalíticos, Mediante ciclos ASM*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Miranda, D. (2016). *Metodología de pruebas y su aplicación para el diagnóstico de convertidores catalíticos, mediante ciclos ASM*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16499/1/CD-7176.pdf>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.
- Motick. (11 de 01 de 2023). *¿Qué es Euro 5 y como ha evolucionado la norma?* Motick: <https://www.motick.com/actualidad-motos/5/que-es-euro-5-y-como-ha-evolucionado-la-norma>
- Navarro Espinosa, S., Meza Figueroa, D., Pedroza Montero, M., y Soto Puebla, D. (2023). Catalizadores de tres vías: historia, funcionamiento y ventajas ambientales. *SciELO*, 16.
- OMS. (24 de octubre de 2024). *Organización mundial de la salud*. OMS: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Pulido, H., y Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño*. Mc Graw Hill Interamericana.
- Roadsitalia. (15 de 02 de 2023). *Catalizador de escape de moto: ¿Qué es y para qué sirve?* Roads: https://www.roadsitalia.com/es/on-the-roads-magazine/post/49-catalizador-de-escape-de-moto-que-es-y-para-que-sirve?srsltid=AfmBOortqEH3z8vaVLSuzoB5XcFGsIT2KvIRImxLapfKFxjaP_aEXetW
- RTE_INEN_136. (6 de diciembre de 2021). *Gobierno nacional de la República del Ecuador*. Servicio Ecuatoriano de Normalización: <http://www.pudeleco.com/files/a17015j.pdf>
- Sanchez, C. (31 de octubre de 2022). Cada vez hay más motos en Cuenca. *El mercurio*. <https://elmercurio.com.ec/2022/10/31/hay-mas-motos-cuenca/>
- Seo, J. M., Park, W. S., y Lee, M. J. (2012). The Best Choice of Gasoline/Diesel Particulate Filter to Meet Future Particulate Matter Regulation. 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2012-01-1255>
- Washburn, F., y Scott, M. (2019). *Principles of highway engineering and traffic analysis*.

Yamaha. (2024). *Yamaha Motor de México S.A.* Yamaha Revs your heart: https://www.yamaha-motor.com.mx/xtz150_24.php

Zidat, S. (2009). Exhaust hot end flow thermal management.

ANEXOS

Anexo 1

Vehículo seleccionado para el estudio



Anexo 2

Instalación del mini convertidor catalítico y silenciador.



Anexo 3

Toma de temperatura del motor y catalizador



Anexo 4

Toma de datos de Potencia, Fuerza y Emisiones Contaminantes

