

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Juan Esteban Madrid Blandon

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
MEDELLÍN - COLOMBIA

2025

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Juan Esteban Madrid Blandon

Trabajo de grado en modalidad investigación, presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director:

Mg. Anderson Gallego Montoya

Línea de Investigación:

Semillero de investigación en vehículos de dos ruedas (SIV2R)

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación e innovación en energía (GIEN)

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

MEDELLIN – COLOMBIA**2025**

A mis padres por su apoyo incondicional, por su motivación y esfuerzo, sus palabras y su amor que me alentaron y me llenaron de vida. Sus bendiciones a diario son mi felicidad. A mi Dios por que lo es todo, me permitió cumplir el sueño de ser profesional y darme el regalo de compartir con mis padres llenos de vida.

Agradecimientos

Inicio Agradeciendo a Dios por guiarme, por darme el discernimiento de tomar las mejores decisiones de las que dependían mis proyectos de vida. A mis padres por toda su ayuda, por sus esfuerzos, por su paciencia y su amor. Doy gracias a mi familia que de alguna manera me ayudaron en este proceso, por su apoyo, de manera especial a mi abuela por su esfuerzo y motivación.

A mi tutor académico, el Prof. Anderson Gallego Montoya, por su invaluable asesoramiento y recomendación, por su dedicación y compromiso en la enseñanza, sin los cuales esta investigación no se podría haberse concluido.

Agradezco a la Institución Universitaria Pascual Bravo por permitirme realizar mi trabajo de investigación en el laboratorio LIDA y por todo el proceso de formación.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo determinar las pérdidas de potencia que se generan al realizar ensayos de motocicletas en un dinamómetro de rodillos diseñado para automóviles, comparando los resultados con los obtenidos en un dinamómetro específico para motocicletas. La metodología experimental se desarrolló empleando tres motocicletas de inyección electrónica, KTM Duke 200, Kawasaki ER-6N y Kawasaki Z250. Las pruebas se efectuaron bajo el ciclo de conducción urbano del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), simulando condiciones reales de aceleración, desaceleración y velocidad. Se midieron variables como par de torsión, potencia efectiva, consumo de combustible y emisiones contaminantes, tanto con gasolina extra como con mezclas de isobutanol al 10%, 20% y 30% en volumen. Los resultados evidenciaron que el dinamómetro de automóviles introduce pérdidas adicionales por efecto de la mayor masa e inercia de los rodillos, lo que repercute en la potencia medida y las emisiones registradas. Se estableció una metodología de corrección que permitirá mejorar la precisión en futuros ensayos y aprovechar de manera óptima los equipos disponibles en el laboratorio para investigaciones sobre combustibles alternativos y eficiencia energética en motocicletas.

Palabras clave: Dinamómetro de rodillos, pérdidas de potencia, motocicletas, emisiones contaminantes, ciclo de conducción AMVA, mezcla isobutanol-gasolina, eficiencia energética.



SC 7134-1



SA-CER901605



Tradición - Transformación - Innovación

Acreditados en Alta Calidad. Resolución 012512 del MEN. 29 de junio de 2022 - 6 años.

Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador

Apartado aéreo: 6564 / Línea única de atención: +57 (604) 448 0520



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Abstract

This study aims to determine the power losses generated when testing motorcycles on a roller dynamometer designed for automobiles, comparing the results with those obtained on a dynamometer specifically designed for motorcycles. The experimental methodology was developed in the laboratories of the Pascual Bravo University Institution, using three electronically fuel-injected motorcycles: a KTM Duke 200, a Kawasaki ER-6N, and a Kawasaki Z250. The tests were conducted under the urban driving cycle of the Aburrá Valley Metropolitan Area (AMVA), simulating real-world acceleration, deceleration, and speed conditions. Variables such as torque, effective power, fuel consumption, and pollutant emissions were measured, both with premium gasoline and with isobutanol mixtures at 10%, 20%, and 30% by volume. The results showed that the automobile dynamometer introduces additional losses due to the greater mass and inertia of the rollers, which affects the measured power and recorded emissions. A correction methodology was developed that will improve accuracy in future tests and make optimal use of the equipment available in the laboratory for research on alternative fuels and energy efficiency in motorcycles.

Keyword: Roller dynamometer, power losses, motorcycles, pollutant emissions, AMVA driving cycle, isobutanol-gasoline mixture, energy efficiency.

Contenido

	Pág.
	Pág.
Lista de figuras.....	10
Lista de tablas.....	13
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	14
Introducción.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. Marco teórico y estado del arte.....	3
1.1.1 Investigaciones de estudios Internacionales.....	3
1.1.2. Investigaciones de estudios nacionales.....	5
1.1.3 Investigaciones de estudios locales.....	7
1.2 Fundamentación teórica.....	10
1.2.1 Isobutanol.....	13
1.2.2 Gasolina.....	13
1.3.3 Motocicletas.....	14
1.3.4 Dinamómetro.....	14
1.3.5 Ciclo de Conducción AMVA.....	15
2. Metodología.....	16
2.1 Equipos de medición.....	16
2.2 Banco de pruebas.....	18

8 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

2.3 Rendimiento de las motocicletas.....	21
2.4 Análisis experimental motocicletas.....	26
2.5 Ciclo de conducción AMVA.....	26
2.6 Adquisición, procesamiento y análisis de datos	29
2.7 Preparación de mezclas gasolina – alcohol – isobutanol	30
2.8 Desarrollo del modelo matemático para la estimación de pérdidas de potencia....	31
2.9 Procedimiento para las pruebas estacionarias	34
2.10 Procedimiento para las pruebas dinámicas.....	37
2.10.1 Desarrollo modelo matemático y teórico de la combustión (CHON).....	38
3. Resultados	42
3.1 Seguimiento visual del comportamiento de mezclas de gasolina-isobutanol	42
3.1.1 Semana 1	44
3.1.2 Semana 2.....	44
3.1.3 Semana 3.....	45
3.1.4 Semana 4.....	45
3.1.5 Semanas 5 y 6	45
3.1.6 Semana 7.....	45
3.1.7 Semana 8.....	46
3.2 Análisis comparativo del rendimiento de motocicletas.....	46
3.2.1 Análisis comparativo de la potencia Kawasaki Z250.....	49
3.2.2 Análisis comparativo de la potencia KTM DUKE 200.....	50
3.2.3 Análisis comparativo de la potencia Kawasaki ER-6n.....	50
3.2.4 Análisis comparativo de potencia y torque en cada uno de los dinamómetros	51

3.3 Emisiones y rendimiento resultados pruebas estacionarias	57
3.3.1 Análisis de Torque para las distintas mezclas de gasolina con alcohol.....	62
3.3.2 Análisis de HC con mezclas de isobutanol con gasolina.....	68
3.3.3 Análisis de CO ₂ con mezclas de isobutanol con gasolina.....	72
3.3.4 análisis de CO con mezclas de isobutanol con gasolina.....	78
3.4 Análisis del rendimiento y emisiones con ciclo de conducción (AMVA) pruebas dinámicas.	85
3.4.1 Análisis de emisiones CO% con mezclas de isobutanol.	85
3.4.2 Análisis de emisiones CO ₂ con mezclas de isobutanol.	89
3.4.3. Análisis de HC % con mezclas de Isobutanol	93
3.4.4 Análisis de potencia con mezclas de isobutanol con gasolina	97
3.4.5 Análisis de torque con mezclas de isobutanol con gasolina.....	101
Conclusiones.....	106
Recomendaciones.....	108
Bibliografía	4

Lista de figuras

Figura 2-1: Ilustración de pruebas en el dinamómetro, realizada con IA.	32
figura 2-2: Ciclo área Metropolitana del Valle de Aburra.	40
Figura 2-3: Subciclo área Metropolitana del Valle de Aburra.	41
Figura 2-4: Proceso de mezclado y pesado de gasolina – isobutanol.	43
Figura 3-1: Seguimiento visual de las mezclas de gasolina-isobutanol.	53
Figura 3-2: Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas.	58
Figura 3-3: Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas.	58
Figura 3-4: Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas.	59
Figura 3-5: Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas.	59
Figura 3-6: Comparativa de potencia vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Er-6n). 64	
Figura 3-7: Comparativa de torque vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Er-6n.)	65
Figura 3-8: Comparativa de potencia vs tiempo del dinamómetro (Kawasaki Z250).	66
Figura 3-9: Comparativa de torque vs tiempo del dinamómetro (Kawasaki Z250).	67
Figura 3-10: Comparativa de potencia vs tiempo del dinamómetro (Duke 200).	68
Figura 3-11: Comparativa de toque vs tiempo del dinamómetro (Duke 200).	69
Figura 3-12: Análisis de la potencia con 0% de isobutanol.	70
Figura 3-13: Análisis de la potencia con 10% de isobutanol.	71
Figura 3-14: Análisis de la potencia con 20% de isobutanol.	73
Figura 3-15: Análisis de la potencia con 30% de isobutanol.	74

Figura 3-16:	Torque promedio para mezcla (IB 0 %) en condiciones estacionarias.	76
Figura 3-17:	Torque promedio para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias	78
Figura 3-18:	Torque promedio para mezcla IB 20 % en condiciones estacionarias.	79
Figura 3-19:	Torque promedio para mezcla IB30 % en condiciones estacionarias.	80
Figura 3-20:	Hidrocarburos medidos en % para mezcla IB 0 % en condiciones estacionarias.	82
Figura 3-21:	Hidrocarburos medidos en % para mezcla IB10 % en condiciones estacionarias.	83
Figura 3-22:	Hidrocarburos medidos en % para mezcla (IB 20 %) en condiciones estacionarias.	84
Figura 3-23:	Hidrocarburos medidos en % para mezcla (IB 30 %) en condiciones estacionarias.	85
Figura 3-24:	CO ₂ medido en % para mezcla (IB 0 %) en condiciones estacionarias.	87
Figura 3-25:	CO ₂ medido en % para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias.	89
Figura 3-26:	CO ₂ medido en % para mezcla IB 20 % en condiciones estacionarias.	90
Figura 3-27:	CO ₂ medido en % para mezcla (IB 30 %) en condiciones estacionarias.	92
Figura 3-28:	CO promedio para mezcla IB 0 % en condiciones estacionarias.	94
Figura 3-29:	CO promedio para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias.	96
Figura 3-30:	CO promedio para mezcla IB 20 % en condiciones estacionarias.	98
Figura 3-31:	CO promedio para mezcla IB 30 % en condiciones estacionarias.	100
Figura 3-32:	Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas.	101
Figura 3-33:	Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas.	102
Figura 3-34:	Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas.	103
Figura 3-35:	Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas.	104
Figura 3-36:	Comparativa de CO ₂ vs Tiempo de Motocicletas.	105
Figura 3-37:	Comparativa de CO ₂ % vs Tiempo de Motocicletas.	106
Figura 3-38:	Comparativa de CO ₂ % vs Tiempo de Motocicletas.	107
Figura 3-39:	Comparativa de CO ₂ % vs Tiempo de Motocicleta.	108

12 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Figura 3-40:	Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas.	109
Figura 3-41:	Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas.	110
Figura 3-42:	Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas.	111
Figura 3-43:	Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas.	112
Figura 3-44:	Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 0%).	114
Figura 3-45:	Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB10%).	115
Figura 3-46:	Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 20%).	116
Figura 3-47:	Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 30%).	117
Figura 3-48:	Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 0%).	118
Figura 3-49:	Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 10%).	119
Figura 3-50:	Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 20%).	120
Figura 3-51:	Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 30%).	121

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Ficha técnica de dinamómetro Dynojet 20i.	26
Tabla 2-2: Ficha técnica de dinamómetro Mustang MD 150.	27
Tabla 2-3: Ficha técnica de Kawasaki ER-6N.	34
Tabla 2-4: Ficha técnica de Kawasaki Z250.	35
Tabla 2-5: Ficha técnica de KTM Duke 200.	

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>IB</i>	Isobutanol	%	Cantidad de mezcla (IB 0%, IB10%, IB 20%, IB 30%)
<i>P</i>	Potencia	W-hp	Trabajo realizado por unidad de tiempo.
<i>T</i>	Torque	N*m	Fuerza que puede hacer que un objeto gire sobre un eje.
<i>V</i>	Velocidad	Km/h	Velocidad por unidad de tiempo
<i>V</i>	Volumen de combustible	Kg	Cantidad de combustible
<i>Mi</i>	Peso molecular de componente	Kg/kmol	Utilizada en balances

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$Prom$	promedio	1	Cantidad seleccionada de una serie de datos.
M	Pendiente de la recta	1	Ecuación 4
σ	Desviación	1	Dispersión de un conjunto de datos.
R_i	Fracción másica	1	Kg por kg de combustible
R	Rendimiento	Kg/km	Ecuación 11
F	Fuerza	N	Fuerza aplicada o carga del dinamómetro.
CO_2	Dióxido de carbono	%	En porcentaje.
HC	Hidrocarburos	ppm	En porcentaje
CO	Monóxido de carbono	%	En porcentaje

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Δ	Delta de diferencia de potencia	hp	Ecuación 1
\dot{m}_i	Flujo másico	Kg/s	Ecuación 5
P	Densidad	Km/m ³	Cantidad de masa contenida en un volumen

Subíndices

16 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Subíndice	Término
Max	Valor máximo observado.
C	Combustible.
I	Componentes i en balances.
Prom	Valor promedio.

Superíndices

Superíndice	Término
N	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
IB	Isobutanol en mezcla
<i>Hp</i>	Caballos de fuerza
<i>Nm</i>	Newton-metro(torque)
<i>Ppm</i>	Partes por millón
<i>AMVA</i>	Ciclo de conducción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
<i>ECU</i>	Unidad de control del motor.

Introducción

En Colombia la presencia de motores de combustión juega un papel relevante en la movilidad en el periodo actual, las motocicletas representan un 62% del parque automotor de acuerdo con el boletín de prensa oficial del Registro Único Nacional de Tránsito [RUNT]. (2024), lo cual denota su incidencia en el transporte urbano y el impacto en la reproducción de emisiones contaminantes deteriorando la calidad del aire. En concordancia con, Yang et al. (2021), en hallazgos recientes, se ha demostrado que los motores de combustión originan concentraciones significativas de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC), entre otros elementos contaminantes que ocasionan deterioro en la calidad del aire, además de tener efectos en la salud pública de zonas urbanas por la exposición directa de ciudadanos y la interacción con el tráfico.

En este contexto, el problema tiene mayor visibilidad en ciudades como Medellín y el Valle de Aburrá, dentro de las causas que propician contaminación ambiental por emisiones están el crecimiento urbano, la topografía, el crecimiento urbanístico y el aumento considerable de vehículos entre ellos las motocicletas. Santa y Henao (2019), probaron que más del 80 % de los contaminantes atmosféricos, es emitido por fuentes móviles, las motocicletas representan un porcentaje considerable. De tal manera, Gómez et al. (2025) aplicaron pruebas IVE para corroborar que Medellín, proporciona presenta un aumento elevado de emisiones principalmente en horas de bastante afluencia vehicular y congestión, posicionando a las motocicletas como uno de los principales generadores de CO, HC y NOx. Estos precedentes prácticos comparado con estudios modernos sobre combustión, emisiones y movilidad sostenible, justifican la necesidad de indagar posibles soluciones tecnológicas para mitigar la emisión contaminante del parque motociclista.

Complementando lo anterior, la utilización de combustibles oxigenados como isobutanol, etanol y metanol se perfila como una alternativa promisoriosa, estos tipos de alcoholes presentan características fisicoquímicas que al ser utilizados como combustibles favorecen algunos índices de rendimiento al emplearse en motores diseñados para gasolina. Por otra parte, al indagar ciertas investigaciones realizadas respecto al tema en cuestión,

Tradición - Transformación - Innovación

Acreditados en Alta Calidad. Resolución 012512 del MEN. 29 de junio de 2022 - 6 años.

Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador

Apartado aéreo: 6564 / Línea única de atención: +57 (604) 448 0520



SC 7134-1



SA-CER901605



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

demonstraron que las mezclas gasolina – alcohol, pueden llegar a minimizar emisiones contaminantes y en condiciones controladas optimizar el desempeño de los motores. (Sayas, 2019; Salazar, 2025), por lo tanto, la eficiencia al realizar estas mezclas depende tanto de la proporción de alcohol como de las condiciones reales de operación de las motocicletas, de ahí la importancia de evaluarlas con rigor en entornos experimentales estables.

Teniendo en cuenta esta panorámica, en investigaciones indagadas no se encontró un estudio que estableciera experimentalmente el comportamiento mecánico y las emisiones generadas por motocicletas con sistema de inyección, abordando distintas mezclas de gasolina y alcohol en condiciones dinámicas y estacionarias. Debido a esto se formularon los siguientes objetivos.

Objetivo general

Evaluar experimentalmente el rendimiento y las emisiones de motocicletas de inyección operando con mezclas gasolina/alcoholes y bajo condiciones estacionarias y dinámicas.

Objetivos específicos

- Analizar experimentalmente el rendimiento de motocicletas con inyección electrónica que funcionan con mezclas de alcoholes y gasolina como combustible.
- Evaluar las condiciones de operación en estado estacionario de las motocicletas en términos de las emisiones y el rendimiento.
- Establecer el efecto del uso de alcoholes en el rendimiento y las emisiones de motocicletas de inyección operando bajo condiciones dinámicas.

1. Marco teórico y estado del arte

1.1.1 Investigaciones de estudios Internacionales

En el estudio realizado por Llanes et al. (2022), titulado “Evaluación de emisiones contaminantes de un motor de encendido provocado utilizando mezcla gasolina-etanol mediante el protocolo im-240” de la Universidad Internacional SEK (Ecuador), con el objetivo de observar y evaluar el comportamiento de las emisiones, especialmente en la incidencia de mezclas gasolina-etanol (E5 y E10), en condiciones tráfico real. La metodología utilizada consistió en ejecutar el protocolo IM-240 en un dinamómetro de chasis, con medición continua de gases mediante analizadores homologados; además incorporaron análisis estadístico para determinar diferencias significativas entre mezclas. Los hallazgos evidenciaron reducciones graduales de CO y HC al aumentar el etanol, mientras que el NOx demostró aumentos leves respecto a temperaturas elevadas de combustión; no obstante, el esquema dinámico del periodo probó que la mezcla E20 genera una notable estabilidad en transformaciones de carga.

Por lo anterior se concluyó que en las mezclas oxigenadas se mejora la efectividad de combustión mediante pruebas dinámicas, donde la reacción del motor no es instantánea. Esta investigación permite comparar la evidencia con la metodología implementada en el estudio en curso, permite incorporar variables de constancia de la combustión de manera transitoria, lo cual fortifica la validez experimental confrontando los hallazgos de este estudio, con él proyecto en curso.

Paralelamente, Habermehl et al. (2020), en la investigación titulada “Un método de modelado para la eficiencia de la transmisión de engranajes en condiciones de funcionamiento transitorias”, desarrollado en la Universidad Ruhr de Bochum (Alemania), esta investigación tuvo como propósito central mejorar la estimación de la ineficiencia mecánica de la transmisión, mediante una orientación basada en la dinámica del contacto y fricción que depende de la temperatura, y la elasticidad.



SC 7134-1



SA-CER901605



Tradición - **Transformación** - Innovación

Acreditados en Alta Calidad. Resolución 012512 del MEN. 29 de junio de 2022 - 6 años.

Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador

Apartado aéreo: 6564 / Línea única de atención: +57 (604) 448 0520



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

4 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

En la metodología consistió en simulaciones multibody, mediante la utilización de modelos termo-mecánicos y evaluación experimental con campo de ensayos de transmisión, logrando como resultados que la validez cambia significativamente durante fases aceleradas y desaceleradas, y que los desgastes temporales podrían llegar a superar las pérdidas estacionarias en un 15 a 25%.

Los autores evidenciaron que los modelos habituales en un momento estable menosprecian las pérdidas reales, especialmente en vehículos ligeros como motocicletas en vías urbanas concurridas. Es importante tomar en consideración este proyecto ya que al demostrar que el rendimiento dinámico de una motocicleta no depende únicamente del motor, sino de la transmisión; por lo tanto, las mediciones de torque, potencia y emisiones bajo condiciones dinámicas adquieren mayor eficacia al considerar que las transiciones en la transmisión intervienen en la generación potencia efectiva y en la carga inmediata que deprecia la combustión.

En consonancia con Duy et al. (2019), en la investigación titulada “Estudio experimental sobre la mejora del rendimiento y las características de emisión de motocicletas usadas alimentadas con etanol mediante un sistema de transferencia de calentamiento de gases de escape” realizado en el Instituto de Ingeniería de Transporte de Vietnam, tuvo como propósito determinar cómo la incorporación de un sistema de transferencia y recuperación de calor de los gases de escape mejora la combustión, el rendimiento y las emisiones de motocicletas usadas alimentadas con etanol. Utilizaron una metodología experimental basada en un dinamómetro de chasis, sensores de temperatura instalados en el sistema de escape, analizadores de gases infrarrojos y mediciones comparativas usando mezclas E10, E20 y E30. Los hallazgos obtenidos mostraron que la recuperación de calor eleva la temperatura del etanol antes de su entrada al motor, lo que mejora la vaporización, incrementa la eficiencia de combustión y reduce significativamente CO y HC, sin embargo, se mostró un ligero aumento en NOx debido a la mayor temperatura de la cámara. Los autores concluyen que la combinación etanol + sistema de recuperación de calor constituye una estrategia eficiente para disminuir emisiones en motocicletas usadas sin comprometer la potencia, demostrando que tecnologías complementarias pueden maximizar los beneficios del etanol como biocombustible. Por lo tanto, este estudio aporta al proyecto en cuestión evidencia esencial al mostrar que el etanol no solo mejora la combustión por su composición oxigenada, sino que su desempeño puede optimizarse mediante ajustes térmicos, información clave para interpretar variaciones en rendimiento y emisiones en tus propios ensayos con mezclas gasolina–alcohol.

Complementando lo anterior, en el artículo de Tsai et al. (2019), titulado “Efectos de la mezcla de etanol con gasolina en el rendimiento de los catalizadores de motocicletas y las emisiones de contaminantes atmosféricos” de la Universidad Nacional Cheng Kung en Taiwán, estos autores evaluaron cómo distintas cantidades de etanol en gasolina coactúan en la eficiencia del catalizador de motocicletas y en la emisión de contaminantes. Su objetivo fue determinar si las mezclas etanol–gasolina coaccionan el desempeño térmico y químico del catalizador bajo el desarrollo real de cada operación. La metodología implementada tomó pruebas en dinamómetro, observación de gases de escape antes y después del catalizador, mediciones de eficiencia de conversión catalítica y evaluación de mezclas E0, E5, E10 y E20 en motores de motocicleta de uso urbano. Los resultados revelaron que el etanol mejora la temperatura operativa del catalizador, favoreciendo la oxidación de CO y HC, además de reducir sustancialmente estos contaminantes en el escape final.

Sin embargo, también encontraron que mezclas con mayor contenido de etanol pueden alterar la relación aire - combustible, afectando la generación de NO_x dependiendo de la estabilidad de combustión. Concluyeron que el uso de etanol no solo interviene en la combustión interna, sino también en el desempeño del sistema de postratamiento, lo que amplifica su impacto ambiental positivo. Este antecedente aporta al proyecto al demostrar que las mezclas gasolina - alcohol afectan no solo el proceso de combustión, sino también la eficiencia del catalizador, un aspecto clave para interpretar diferencias de emisiones cuando tus ensayos incluyan motocicletas con sistemas catalíticos activos.

1.1.2. Investigaciones de estudios nacionales

En la actualidad la investigación sobre emisiones ocasionada por motocicletas en Colombia ha evolucionado de una manera progresiva, inducida por la necesidad de conocer los factores que ocasionan la contaminación atmosférica. En este contexto, el trabajo de Pereira Rocha (2024), titulado “Consolidación de la base de datos de factores de emisión y consumo de combustible del sector de transporte terrestre carretero en Colombia: análisis del efecto de la altitud y de la tecnología” de la Universidad de Antioquia, representa un avance decisivo al consolidar una base de datos nacional sobre factores de emisión y consumo de combustible, integrando mediciones experimentales en distintos rangos altitudinales y en vehículos con tecnologías variadas. Su estudio demuestra que la altitud tiene una incidencia significativa sobre la producción de contaminantes como CO₂, NO_x y material particulado, así como sobre el rendimiento específico del motor.

6 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Este hallazgo reviste especial importancia para el análisis de motocicletas de inyección, ya que su desempeño varía sensiblemente en función de la densidad del aire y de las condiciones de combustión asociadas a cambios de altura. La metodología empleada por Pereira Rocha, basada en mediciones directas y análisis estadístico, constituye un referente para la generación de datos contextualizados, requisito indispensable en estudios como el presente, que buscan caracterizar la influencia de mezclas gasolina – alcohol en condiciones controladas.

En la investigación de Díaz (2020), titulada “Variación en las emisiones contaminantes de los vehículos debido a cambios en la geometría vial en carreteras de Colombia” de la Universidad Nacional de Colombia, complementa este punto de vista al enfatizar cómo el estado vial y las condiciones operativas reales influyen en las emisiones vehiculares. Su estudio señala que variables como la pendiente, el trazado y la dinámica del flujo vehicular generan variaciones importantes en los niveles de CO, HC y NO_x, particularmente en vehículos livianos sometidos a aceleraciones frecuentes. Al utilizar mediciones en campo con instrumentación portátil. El autor evidenció que las emisiones reales difieren de las estimadas en ciclos estandarizados, por lo cual aporta evidencia importante en la realización del proyecto en curso por los ensayos en dinamómetro aplicados a motocicletas y la simulación de ciclos dinámicos como el AMVA se vuelve fundamental para garantizar que los valores obtenidos en laboratorio tengan validez externa y representen adecuadamente las condiciones de operación típicas de las motocicletas en el país.

En concordancia Pardo Oñate (2020), en su tesis titulada “Estudio de las prestaciones y emisiones contaminantes de pequeños motores Otto con diferentes mezclas gasolina y etanol proveniente de la caña de azúcar”, realizada en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, evaluó el comportamiento de motores de combustión interna tipo Otto operando con mezclas de gasolina comercial y etanol de origen agrícola colombiano. El objetivo de la investigación fue determinar cómo varían el rendimiento mecánico incluyendo potencia, torque y consumo específico y las emisiones contaminantes CO, HC al emplear mezclas con diferentes proporciones de etanol. La metodología consistió en ensayos controlados en un dinamómetro de banco, análisis de gases con equipo automotriz certificado y evaluación comparativa entre mezclas E0, E10 y E20. Los resultados evidenciaron que el etanol mejora la eficiencia de combustión y reduce significativamente CO y HC.

El autor concluyó que el etanol proveniente de caña de azúcar constituye un combustible alternativo viable para motores pequeños en Colombia, con beneficios ambientales notables si se gestiona adecuadamente la relación aire – combustible. Este antecedente aporta directamente a tu proyecto al proporcionar datos experimentales nacionales que permiten comparar de manera contextualizada la respuesta de motores de motocicleta frente a mezclas gasolina – alcohol bajo condiciones similares de análisis de rendimiento y emisiones.

En el análisis de los antecedentes nacionales muestran que la investigación colombiana ha avanzado hacia la contextualización de los factores de emisión y hacia la comprensión de las variables que afectan la combustión en motocicletas. Sin embargo, también evidencia que persisten brechas en la caracterización experimental de motocicletas de inyección operando con mezclas gasolina – alcohol bajo ciclos estacionarios y dinámicos, precisamente el aporte que busca realizar esta investigación.

1.1.3 Investigaciones de estudios locales

En el análisis de los antecedentes locales, es importante considerar el área metropolitana de la ciudad de Medellín específicamente en el Valle de Aburrá, también sus condiciones geográficas, caracterizadas por una topografía abrupta, variaciones importantes de altitud y patrones de circulación complejos. En este sentido es importante indagar en las investigaciones que han abordado la temática en cuestión.

En este contexto, en el estudio de Sánchez Ramírez (2024), titulado “Puesta a punto de la sala de ensayos del banco dinamométrico de rodillos de motocicletas del Laboratorio de Máquinas Térmicas”, de la Universidad de Antioquia tuvo como objetivo central de la investigación fue optimizar y validar el banco dinamométrico de rodillos para garantizar mediciones reproducibles de torque, potencia y emisiones en motocicletas de distintas categorías. La metodología utilizada en este estudio armonizó una evaluación diagnóstica inicial del equipo teniendo en cuenta comprobación mecánica y validación de instrumentos con procesos de calibración, ajuste de la unidad de absorción de potencia (PAU), pruebas de verificación de sensores y mantenimiento preventivo para evitar fallos.

8 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Los hallazgos demostraron progresos significativos en la temperatura constante del sistema y en la consistencia de las mediciones, al rectificar desajustes mecánicos, perfeccionar el ensamble entre rueda y rodillo y tipificar los métodos para adquirir datos.

Dentro de las conclusiones, el autor destacó que la confiabilidad de los datos consumo de combustible, rendimiento del motor y emisiones contaminantes aumenta significativamente al reducir los errores en el sistema incluyendo la incorrecta calibración de los sensores, las fluctuaciones térmicas y las pérdidas por fricción. Asimismo, subrayó en la importancia de efectuar criterios de evaluación con anterioridad a cada sesión experimental y de preservar las condiciones ajustadas en las pruebas de alineación, control, térmico y de tensión neumática al tomar componentes alternativos como gasolina-alcohol.

En efecto, esta investigación aporta información valiosa y fortalece la metodología implementada en el presente estudio, ya que asegura que el banco dinamométrico funcione bajo caracteres técnicos que reducen la variación experimental y estas experiencias suministran mayor confiabilidad las variaciones encontradas con el rendimiento (potencia y consumo) y las emisiones a las variables específicas de acuerdo al estudio, como el tipo de mezcla de combustible, el nivel de carga y la velocidad del motor, lo cual aporta información relevante en las pruebas con motocicletas y de las condiciones estables como dinámicas.

En este escenario, en el informe técnico de Serna (2024), titulado “Informe de Pruebas de Laboratorio de UdeA” de Institución Universitaria Pascual Bravo, el autor documento de manera exhaustiva las pruebas realizadas en el laboratorio de dinamometría, el objetivo central consistió en describir con precisión los instrumentos, procedimientos y documentos operativos utilizados en la caracterización de motocicletas bajo condiciones estacionarias y dinámicas, asegurando la validez y confiabilidad de las mediciones, a través de la implementación de prácticas estandarizadas de calibración, sincronización de señales y regulación de temperatura.

Paso seguido se realizaron pruebas controladas en un dinamómetro de rodillos, integrando mediciones de parámetros fundamentales como el régimen de giro del motor, la velocidad de rueda, el torque aplicado y las emisiones contaminantes. La instalación y uso de sensores externos, particularmente el SmartTach, permitió obtener señales independientes de rpm que fueron utilizadas para verificar la precisión del software del

dinamómetro y del tacómetro original de las motocicletas evaluadas. Esta estrategia metodológica incrementó la validez interna de los ensayos, al reducir divergencias entre los diferentes dispositivos de medición. Asimismo, el informe detalla la implementación de un sistema de ventilación industrial, orientado tanto hacia la unidad de absorción de potencia (PAU) como hacia el radiador de la motocicleta, con el fin de garantizar estabilidad térmica durante los ensayos.

Los resultados obtenidos por el autor demostraron que la estabilidad de las condiciones experimentales especialmente la temperatura del motor, la calibración inicial del dinamómetro y la alineación precisa de la motocicleta sobre el rodillo influye notablemente en la repetibilidad de las mediciones y en la confiabilidad de los datos. El informe concluyó que, debido a la naturaleza altamente transitoria del funcionamiento de los motores de motocicleta y a su sensibilidad frente a cambios mínimos en carga, rpm y temperatura, es indispensable emplear procedimientos estrictos de control experimental para asegurar la reproducibilidad y validez de los resultados. De igual manera, enfatizó la necesidad de sincronizar correctamente las señales provenientes de dispositivos con frecuencias distintas, aspecto esencial para el análisis de emisiones y rendimiento energético en estudios posteriores.

Este antecedente es importante para la elaboración del diseño metodológico del proyecto en curso, por su indagación experimental y los lineamientos ya que proporciona lineamientos experimentales exhaustivos que garantizan la exactitud de las mediciones en pruebas con motocicletas con mezclas gasolina – alcohol, asimismo el análisis de las emisiones y eficiencia energética.

El estudio desarrollado por Agudelo et al. (2019), titulado " Factores de emisión de fuentes móviles en el Valle de Aburrá", de la Universidad de Antioquia Su objetivo principal consistió en determinar factores de emisión representativos para vehículos livianos, pesados y motocicletas operando bajo las condiciones reales de circulación de Medellín y su área metropolitana. Para ello, los autores implementaron una metodología híbrida basada en mediciones en laboratorio y pruebas en ruta utilizando equipos portátiles de medición de emisiones (PEMS), con el fin de capturar variaciones operativas asociadas al tráfico urbano, la altitud y la topografía de la ciudad.

Complementando lo anterior, los hallazgos demostraron que las motocicletas eran en proporción a su consumo energético, una de las mayores fuentes de hidrocarburos no

10 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

quemados (HC) y monóxido de carbono (CO), especialmente en escenarios de aceleración brusca y pendientes pronunciadas. Se concluyó que los factores de emisión estandarizados resultaban insuficientes para describir el comportamiento real de las motocicletas en el Valle de Aburrá, en consecuencia, recomendaron el desarrollo de metodologías de ensayo específicas para la región. Esta investigación constituye un referente bibliográfico fundamental que demuestra que es prioritario realizar experimentos controlados orientados a validar y analizar nuevas mezclas de combustibles por lo cual este antecedente ofrece información técnica esencial, que demuestra la necesidad de realizar estudios experimentales controlados y su respectiva validación y análisis de las emisiones generadas en motocicletas de inyección.

1.2 Fundamentación teórica

La comprensión del rendimiento y las emisiones de motocicletas de encendido por chispa que operan con mezclas gasolina–alcoholes bajo condiciones estacionarias y dinámicas requiere un fundamento teórico coherente que explique la conexión sincrónica entre combustión, transferencia de calor, interacción con tránsito, el consumo eficiente de energía y el modo de conducción. En este sentido, este marco se construye a partir de modelos y teorías contemporáneas que permiten analizar el funcionamiento real de los motores utilizados en el transporte urbano, emisiones y desempeño del motor.

Como primera medida, se toma la teoría elemental que corresponde al estudio de los combustibles oxigenados y su efecto sobre la combustión en motores SI (*Spark Ignition*), en la revisión de la literatura moderna se ha comprobado que alcoholes como el etanol, el metanol y el isobutanol concentran oxígeno en su configuración molecular, una combustión más completa al integrar la disponibilidad de oxígeno en la mezcla aire - combustible. De este modo, se minimiza la producción de monóxido de carbono y de hidrocarburos sin quemar, que son los elementos más presentes en el motor de motocicletas que generan contaminación (Agarwal et al., 2017). No obstante, debido a su menor valor calorífico, estos alcoholes exigen al motor a contrarrestar realizando ajustes en la inyección, en especial bajo cargas elevadas. Esta teoría se considera como la base para comprender por qué las mezclas gasolina - alcoholes pueden modificar tanto el rendimiento como las emisiones.

Siguiendo el hilo conductor en la investigación, es indispensable revisar la teoría de la inestabilidad transitoria para complementar lo anteriormente abordado explicando el comportamiento del motor durante altibajos de velocidad y aceleración, además que en

condiciones reales en conducción urbana, los motores experimentalmente muestran variaciones repentinas que afectan la preparación de mezcla, la velocidad de llama y la presión en la cámara de combustión. Estos cambios ocasionan altos niveles de emisiones que no se observan en pruebas estacionarias y en ciclos dinámicos si se observan reproduciendo la conducción real (Zhao y Harrington, 2016).

Por otra parte, en las investigaciones realizadas para el contexto del Valle de Aburrá confirmaron que los factores de emisión dependen en gran medida de estos eventos transitorios tal como lo manifiesta (Serna, 2023). Esta teoría demuestra la necesidad metodológica de emplear un ciclo como el AMVA y de realizar pruebas dinámicas además de las estacionarias.

En consonancia con la teoría de vaporización y evaporación de mezclas combustibles, ya que ahonda en la relación entre las características intrínsecas de los alcoholes y su efecto sobre la formación de mezcla. Dado que los alcoholes tienen un calor de vaporización alto en comparación con el de la gasolina, lo que minimiza la temperatura en el colector de admisión y altera la concentración del aire entrante. Esto puede ocasionar la optimización de la eficiencia volumétrica, pero también conlleva a que partes de la mezcla que tienen demasiado aire, la evaporación no ocurra de manera uniforme (Turns, 2017). En situaciones dinámicas, donde la temperatura del motor cambia asiduamente, estos efectos se extienden y argumentan las variaciones en los niveles de NOx y HC registradas en investigaciones experimentales, lo cual genera un aporte importante en resultados de combustión donde se emplean mezclas con isobutanol.

En un aspecto sistémico amplio, la teoría de eficiencia energética en motores de combustión explica que depende del consumo específico de combustible, también de la generación de pérdidas internas y de la estabilidad térmica del sistema. Los alcoholes, al poseer distinta estructura química y menor valor energético, generan variaciones en este balance, impactando la potencia entregada al eje y la PME. En estudios recientes se demostró que, en ciudades con contextos de tráfico exigentes, como Medellín, el motor de motocicletas presenta considerables variaciones de carga, lo que aumenta los desgastes de bombeo y afecta la eficiencia total del sistema (Gómez et al., 2025). Esta teoría es esencial para el análisis del rendimiento comparativo entre gasolina y mezclas oxigenadas.

12 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

En tal sentido, la teoría de análisis comparativo de combustibles, basados en estudios previos al subrayar que las propiedades de cada combustible deben evaluarse bajo condiciones controladas y repetibles, esto se debe a que la interrelación con el combustible, las condiciones técnicas del motor y situaciones ambientales generan efectos diferenciados. De esta manera Pereira (2024), evidenció que la altura sobre el nivel del mar, la arquitectura del sistema de inyección y los patrones dinámicos perturban progresivamente los factores de emisión, lo cual explica la utilización de un dinamómetro calibrado, del sistema SmartTach como referencia autónoma y de métodos para controlar la temperatura y así garantizar que la comparación entre combustibles tenga validez.

Desde otro punto de vista la teoría de medición vehicular establece que la validez y confiabilidad de los hallazgos obtenidos depende de la calibración exacta de cada instrumento que interfiere en el proceso. Según Ramírez (2024), evidenció que errores en el balance térmico de la PAU o en la lectura del régimen de giro pueden distorsionar las mediciones de potencia y torque, asimismo se fortalece la necesidad de contar con instrumentos como el SmartTach y ventiladores industriales que eviten temperaturas sobrecargadas durante las pruebas, específicamente en ciclos dinámicos.

En síntesis, la teoría del desempeño vehicular utilizando criterios estandarizados, integra todas las teorías abordadas anteriormente y reafirma que los cálculos experimentales solo adquieren validez si se experimentan en ámbitos reales en la. En ciudades como Medellín, distinguida por carretera con pendientes pronunciadas, transporte denso y aceleraciones constantes, el ciclo AMVA constituye un instrumento teórico y metodológico esencial reproduciendo los requerimientos del entorno (Serna, 2023; Díaz, 2020). De tal modo que se certifica que este enfoque dual de pruebas estacionarias y dinámicas empleado en el presente proyecto y la comprensión de las diferencias en rendimiento y emisiones al utilizar mezclas gasolina–alcohol.

En su totalidad, las teorías revisadas permiten establecer que, si bien los alcoholes favorecen una combustión eficiente, también establecen transformaciones en el balance de energía. Asimismo, se reconoce que las condiciones transitorias de conducción urbana infieren en la generación de emisiones, y la respuesta en el encendido incide en función de la carga térmica y la composición del combustible. De igual manera se reafirma que el ciclo AMVA compone el marco de referencia más adecuado para representar las condiciones reales del Valle de Aburrá, garantizando que los datos hallados en esta

investigación sean comparables y válidos, esta fundamentación teórica avala la estrategia metodológica empleada en el estudio en curso.

La observación experimental del rendimiento y las emisiones de motocicletas de inyección que operan con mezclas gasolina – alcohol, requiere una fundamentación conceptual que permita comprender de forma ordenada, los fenómenos relacionados con la combustión interna, en la formación de emisiones contaminantes, en la fuente de potencia mecánica y la medición de los criterios principales del motor. Estos conceptos logran establecer las relaciones entre las variables estudiadas y para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos en el dinamómetro bajo condiciones estacionarias y dinámicas entre ellos están:

1.2.1 Isobutanol

Es una clase alcohol, su importancia radica porque se ha consolidado como un biocombustible avanzado de segunda generación gracias a sus propiedades fisicoquímicas, especialmente apropiadas para motores de encendido por chispa. Su configuración molecular le otorga un índice de octano elevado y mayor resistencia a la autoignición en comparación con el etanol, lo que permite ajustar el avance de chispa y perfeccionar la validez del proceso de combustión (Agudelo et al., 2019). Estas propiedades son particularmente relevantes en el motor de las motocicletas, donde la estabilidad de la llama y la calidad del encendido condicionan directamente la entrega de potencia.

Con relación a la perspectiva termodinámica, el isobutanol requiere una mayor energía de vaporización frente a la gasolina, lo cual produce un efecto de enfriamiento de la mezcla aire – combustible, este evento intensifica la densidad del aire aceptado, mejorando la eficiencia volumétrica, sin embargo, puede desestabilizar la estabilidad de la ignición durante operaciones con carga limitada. En procesos ambientales, su composición oxigenada promueve una combustión más completa reduciendo la formación de hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, aun cuando los cambios de temperatura en la cámara de combustión pueden intervenir en la formación de óxidos de nitrógeno bajo ciertas moderaciones operativas (Pereira, 2024).

1.2.2 Gasolina

14 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

La gasolina es un combustible líquido derivado del petróleo, compuesto principalmente por hidrocarburos (moléculas de hidrógeno y carbono). Se obtiene mediante un proceso de refinación y se utiliza principalmente en motores de combustión interna de encendido por chispa, como el de las motocicletas. Las propiedades de la gasolina, como la presión de vapor y el contenido aromático, condicionan el arranque, la evaporación y la estabilidad de la mezcla aire-combustible, especialmente en motores de pequeña cilindrada.

Esta composición química conlleva a retos específicos durante la marcha de motores de pequeño desplazamiento, característicos de zonas densas colombianas, bajo condiciones transitorias. Según Boluda et al. (2019), en su estudio proporciona bases científico-químicas que explican por qué gasolinas con diferente composición generan distintos patrones de emisiones y eficiencia energética, incluso bajo condiciones operativas similares, así la gasolina no solo constituye el combustible de referencia, sino un elemento importante para comprender la interacción entre composición, potencia, consumo y emisiones en pruebas controlados con dinamómetro.

1.3.3 Motocicletas

Vehículos de dos ruedas propulsados por un motor de combustión interna o eléctrico, caracterizados por su compactibilidad, agilidad y eficiencia en el consumo de combustible, representa uno de los medios de transporte más utilizado por los colombianos debido a su bajo costo operativo y su capacidad para desplazarse con mayor agilidad en contextos de congestión vial. Sin embargo, constituyen una fuente importante de emisiones atmosféricas debido a su uso intensivo, a su dinámica operativa y a la predominancia de motores de encendido por chispa, en investigaciones recientes han demostrado que, en ciudades como Medellín, las motocicletas aportan una proporción significativa de contaminantes criterio, lo que evidencia la necesidad de caracterizar con mayor precisión su desempeño y sus emisiones bajo condiciones reales de operación (Rueda, 2022).

1.3.4 Dinamómetro

Es un instrumento diseñado para calcular de forma determinada el torque, la velocidad de giro y la potencia generada por un motor en condiciones controladas de operación. En el ámbito de la evaluación vehicular específicamente en la caracterización de motocicletas, los dinamómetros de rodillos conceden reproducir cargas equivalentes a las

acostumbradas en la vía, conservando la motocicleta estática mientras su rueda trasera transmite energía al rodillo. Esto posibilita obtener mediciones confiables de rendimiento, consumo y emisiones sin la variabilidad asociada a las condiciones ambientales o al tráfico, este dispositivo marcha por medio de una unidad de absorción de potencia (PAU), que actúa a través de instrumentos hidráulicos, eléctricos o de fricción, el cual emplea una carga controlada al motor, obligándolo a entregar esfuerzo mecánico similar al que proporcionaría en situaciones reales de conducción (Martyr y Rogers, 2021).

Los autores destacan que la capacidad del dinamómetro para controlar con precisión el par resistente y registrar simultáneamente la velocidad del eje convierte a este equipo en una herramienta indispensable para la evaluación comparativa de combustibles, la calibración del sistema de inyección y la verificación de la respuesta del motor en distintos regímenes. En el caso de motocicletas, el dinamómetro ofrece permitiendo realizar pruebas estacionarias y dinámicas, en el caso del proyecto en ejecución el dinamómetro, es un instrumento específico para la caracterización experimental del rendimiento y las emisiones de motocicletas que operan con mezclas gasolina – alcoholes por su facultad para simular cargas reales y registrar parámetros con alta precisión.

1.3.5 Ciclo de Conducción AMVA

El ciclo de conducción AMVA es un protocolo estandarizado que simula las condiciones típicas de movilidad urbana del Valle de Aburrá mediante una secuencia representativa de aceleraciones, desaceleraciones, velocidades constantes y periodos de ralentí. Gómez Rueda et al. (2025) señalan que este ciclo refleja fielmente el comportamiento vehicular en Medellín, caracterizado por la congestión, la topografía compleja y los constantes cambios de velocidad. Su aplicación en pruebas de dinamometría permite reproducir condiciones reales de operación en un entorno controlado.

En la investigación de Agudelo et al. (2019) utilizaron este ciclo para estimar factores de emisión específicos para motocicletas en operación urbana, demostrando que los datos obtenidos bajo este protocolo son más representativos que los generados en ciclos genéricos. Cuando se evalúan mezclas gasolina–alcohol, el ciclo AMVA permite analizar cómo varía la combustión en cada fase del perfil de conducción, lo que ofrece una visión integral del rendimiento bajo escenarios altamente cambiantes.

2. Metodología

A continuación, se describen los procedimientos desarrollados en cada etapa experimental. Donde se efectuaron pruebas en dinamómetro con el fin de evaluar la estabilidad de la motocicleta, comprobar el funcionamiento de los sensores instalados y garantizar que todo el sistema estuviera en condiciones antes de iniciar las pruebas estacionarias y dinámicas.

2.1 Equipos de medición

Para el desarrollo de los ensayos experimentales se emplearon diversos instrumentos de medición previamente descritos en la fundamentación conceptual; sin embargo, es necesario precisar su función dentro de la metodología y justificar su uso en el proceso de caracterización. Entre los equipos utilizados se encuentran el analizador de gases, el dinamómetro Mustang MD-150 y el dinamómetro Dynojet 20i, el dispositivo SmartTach, la sonda lambda, los sensores de torque y velocidad, los balones volumétricos, la báscula electrónica, el medidor de gases, las riatas de fijación y los rodillos del banco. Cada uno de estos instrumentos cumplió un papel específico orientado a garantizar la validez, precisión y reproducibilidad de los datos experimentales.

El analizador de gases fue empleado para cuantificar con exactitud las concentraciones de CO, CO₂, HC, O₂, permitiendo evaluar el impacto de las mezclas gasolina–alcohol sobre la calidad de la combustión y los niveles de emisiones. Su inclusión en el montaje fue imprescindible, dado que la investigación se centra en la caracterización de contaminantes bajo distintos regímenes operativos. De igual manera, la sonda lambda permitió monitorear la relación aire–combustible en tiempo real, dato crítico para la interpretación del comportamiento del motor durante las pruebas estacionarias y dinámicas.

Por su parte, los dinamómetros Mustang MD-150 y Dynojet 20i se emplearon para medir torque, potencia y velocidad con altos niveles de precisión, lo que permitió comparar el comportamiento de la motocicleta frente a condiciones controladas y realistas. El MD-150, en particular, fue sometido a un proceso de calibración mediante el SmartTach con el fin de asegurar que las lecturas de régimen de giro del motor fueran estrictamente confiables. Este dispositivo permitió obtener una señal independiente de referencia, la cual fue utilizada para calibrar y verificar la correspondencia entre las lecturas entregadas por el software del dinamómetro y las indicadas por el tacómetro original de la motocicleta, garantizando la confiabilidad del parámetro de régimen de giro. Adicionalmente, se implementó un sistema de control térmico mediante la instalación de dos ventiladores industriales: uno orientado hacia la unidad de absorción de potencia (PAU) y otro dirigido específicamente al radiador de la motocicleta.

Esta configuración aseguró el flujo de aire necesario para mantener la temperatura del motor dentro de su rango normal de operación, evitando recalentamientos que pudieran alterar las mediciones de potencia, torque, consumo y emisiones, esta disposición experimental, evidenciando la simulación adecuada de las condiciones de marcha reales mediante el control térmico del entorno durante las pruebas. Esta calibración fue fundamental para confirmar la correspondencia entre la señal capturada desde la bobina de encendido y los valores registrados por el software del dinamómetro.

Adicionalmente, los balones volumétricos y la báscula electrónica fueron utilizados para garantizar exactitud en la preparación de las mezclas de combustible, evitando errores asociados a variaciones por densidad o fallas en la dosificación. Estos instrumentos permitieron obtener volúmenes y masas precisas de gasolina y alcohol, asegurando la reproducibilidad de cada mezcla experimental. Complementariamente, las riatas de fijación y los rodillos del banco garantizaron la estabilidad del montaje, evitando desplazamientos que pudieran alterar las mediciones o comprometer la seguridad durante las aceleraciones y desaceleraciones típicas de las pruebas dinámicas.

Finalmente, la integración de todos estos equipos permitió conformar un sistema de medición robusto, capaz de registrar con fidelidad las variables críticas del proceso experimental. Su utilización no solo respondió a la necesidad técnica del estudio, sino

18 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

también al rigor metodológico requerido para obtener resultados comparables, repetibles y científicamente válidos.

2.2 Banco de pruebas

Se utilizaron dos tipos de dinamómetros con finalidades distintas, con el propósito de establecer una comparación entre sus comportamientos frente a las mismas condiciones de prueba que fueron Dynojet 20i y el Mustang MD 150.

La elección del dinamómetro es fundamental para garantizar la validez experimental en la caracterización de motocicletas. El Dinamómetro DYNOJET 20i, diseñado de manera especial para motocicletas, incorpora rodillos de menor diámetro y baja inercia que replican con mayor fidelidad las condiciones de masa rotacional real de estos vehículos. Este diseño optimizado permite una respuesta dinámica precisa durante ciclos de conducción transitorios, típicos del entorno urbano. En contraste, el Dinamómetro Mustang MD 150, concebido principalmente para automóviles, presenta rodillos de mayor masa e inercia que, si bien son adecuados para vehículos más pesados, pueden introducir pérdidas adicionales y una respuesta inercial menos precisa cuando se adaptan para motocicletas. Estas diferencias de diseño afectan directamente la capacidad de cada equipo para simular las cargas reales y registrar variaciones sutiles en el rendimiento del motor.

En relación con lo anterior, respecto a los componentes, ambos dinamómetros incorporan elementos básicos como rodillos de medición, sensores de torque y velocidad, sistemas de adquisición de datos y estructuras de sujeción. Sin embargo, el DYNOJET 20i integra de fábrica un sistema de sujeción específico para motocicletas y un software especializado para la obtención de información. El Mustang MD 150, por su parte, no incluye estos elementos de forma original, requiriendo adaptaciones que pueden comprometer la repetibilidad y exactitud de las mediciones. Una diferencia crítica radica en el sistema de absorción de potencia: el DYNOJET está calibrado para el rango de potencia y par característico de motocicletas, mientras que el Mustang está dimensionado para potencias automotrices superiores, lo que puede reducir la resolución en mediciones de motores de baja cilindrada.

La elección del conjunto de medición tiene implicaciones profundas para la validez y repetibilidad del proyecto. La configuración del Mustang MD 150, con emisiones integradas, promete eficiencia y sincronía, pero su idoneidad para motocicletas está

limitada por su diseño y calibración original. La configuración del DYNOJET 20i, con equipos externos, exige un protocolo riguroso de sincronización y calibración (por ejemplo, usando señales de disparo comunes y gases de calibración certificados), pero ofrece un entorno de medición específico y optimizado para la baja cilindrada y dinámica de las motocicletas. Para este estudio, enfocado en detectar diferencias sutiles en rendimiento y emisiones causadas por el isobutanol, la precisión y especificidad son primordiales.

Para investigaciones que evalúan el impacto de combustibles oxigenados, como mezclas de gasolina con isobutanol, la precisión en el control de carga y la respuesta transitoria son esenciales. El DYNOJET 20i, al minimizar las inercias parasitarias y ofrecer un control dinámico más ajustado, permite atribuir con mayor confianza las diferencias en potencia, consumo y emisiones a las variables de interés (composición del combustible, régimen de giro, carga térmica), y no a artefactos del equipo de medición.

Para complementar lo anteriormente expuesto, la diferencia entre ambas PAU influye directamente en la dinámica de prueba y en la naturaleza de los datos obtenidos. Mientras que el Mustang MD-150 ofrece una mayor capacidad de absorción y robustez estructural, lo que lo hace especialmente adecuado para pruebas prolongadas y cargas elevadas, el Dynojet 20i destaca por su respuesta más rápida y su diseño optimizado para motocicletas, como consecuencia mejora la precisión en entornos transitorios como aceleraciones típicas del ciclo AMVA. La combinación de ambos sistemas en el estudio no solo amplía la confiabilidad del análisis experimental, sino que también permite comparar la sensibilidad, capacidad de carga y respuesta de cada unidad de absorción de potencia (PAU) frente a las variaciones introducidas por las mezclas de gasolina–alcohol, enriqueciendo la interpretación de los hallazgos obtenidos. Tal como muestra la Tabla 2-1 y 2-2.


Tabla 2-1: Ficha técnica de dinamómetro Dynojet 20i

Ficha Técnica		
Especificaciones		
	Referencia	DYNOJET 20i
	Velocidad máxima	200 MPH / 322 KPH

20 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

	Diámetro del tambor	18,0 pulgadas / 45,72 cm
	Ancho del tambor	16,37 pulgadas / 41,59 cm
	Requisitos de energía	Circuito monofásico de 240 V
	Peso máximo del eje	750 libras
	Frecuencia	50 o 60 Hz
	Consumo de energía	7.200 vatios
	Longitud	3.048 m (10 ft)

Tabla 2-2: Ficha técnica de dinamómetro Mustang MD 150.

Ficha Técnica		
Especificaciones		
	Referencia	Mustang MD 150
	Dispositivo de carga	PAU de corrientes parásitas
	Velocidad máxima	175 MPH
	Diámetro del rollo	8,575 pulgadas
	Ancho del tambor	16,37 pulgadas / 41,59 cm
	Max HP	1.200 HP
	Inercia	630 lb

	Máximo peso del eje	6.000 lb
	Energía requerida	115VAC, 230VAC, monofásico

La Figura 2-1 muestra el montaje del dinámometro, con los respectivos elementos de medición como el analizador de gases, el sistema de ventilación y el ciclo AMVA, listo para las pruebas realizadas en el laboratorio

Figura 2-1: Ilustración de pruebas en el dinámometro, realizada con IA



2.3 Rendimiento de las motocicletas

Para garantizar el correcto desarrollo del proyecto es indispensable la selección de las motocicletas Kawasaki ER-6N (649 cc), Kawasaki Z250 (249 cc) y KTM Duke 200 (199 cc) responde a la necesidad de evaluar el comportamiento del motor y las emisiones

22 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

contaminantes en una perspectiva representativa contratada con la oferta real del parque motociclista de Medellín, el cual combina motores de alta, media y baja cilindrada con sistemas de inyección electrónica modernos.

Complementando el análisis del rendimiento, en primer lugar, la Kawasaki ER-6N, con su motor bicilíndrico DOHC de 649 cc y 72 hp, proporciona un referente de motocicleta de mayor potencia y alto torque, permitiendo analizar cómo los dinamómetros Mustang y Dynojet gestionan cargas elevadas, masas rotacionales mayores y curvas de potencia más extensas. Sin embargo, la Kawasaki Z250, equipada con un motor de 249 cc, doble cilindro y relación de compresión intermedio simboliza la sección media, muy presente en entornos urbanos, ofreciendo una respuesta técnica ideal para comparar la eficiencia volumétrica, la estabilidad térmica y el desempeño bajo pruebas estacionarias.

En contraste, la KTM Duke 200, mono cilíndrico, ligera y con un motor de alta compresión (11.5:1), constituye un caso de estudio relevante, dado que es el tipo de motocicleta más común entre usuarios urbanos, mensajeros y trabajadores de plataformas, caracterizándose por bajas masas rotacionales, cambios rápidos de régimen y ciclos térmicos más sensibles a variaciones en la mezcla combustible - alcohol.

La integración simultánea de estos tres modelos de motocicletas permitió contrastar cómo la cilindrada, el diseño de la cámara de combustión, el tipo de refrigeración y la estructura del motor influyen en parámetros como calibración del tacómetro, estabilidad de ralentí, consumo específico de combustible, respuesta bajo carga, y sensibilidad a los cambios en las mezclas gasolina-alcohol, tanto en condiciones estacionarias como dinámicas. También, su diversidad de potencia facilitó la comparación del desempeño entre dinamómetros, evidenciando cómo la inercia del rodillo, la capacidad de absorción de carga (PAU) y los sistemas de medición afectan la lectura del torque y la potencia dependiendo del tipo de motocicleta evaluada.

En conjunto, esta selección estratégica permitió fortalecer la validez técnica del estudio, al abarcar diferentes comportamientos mecánicos relevantes para comprender de manera integral las emisiones y el rendimiento en motocicletas representativas del contexto colombiano. Visualizar Tablas 2-3, 2-4 y 2-5.

Tabla 2-3: Ficha técnica de Kawasaki ER-6N.

Ficha Técnica			
	Referencia	ER-6N	
	Modelo	2014	
	Marca	Kawasaki	
	Tipo de moto	Naked	
	Peso (kg)	204	
	Posición de manejo	Deportiva	
	Chasis	Multitubular en acero	
	Capacidad del tanque (L)	16	
	Origen de la marca	Japón	
Especificaciones técnicas del motor			
Tipo de motor	4 tiempos DOCH	Cilindrada (CC)	649
Relación de compresión	11.3:1	Torque (Nm)	66 @ 7000 rpm
Par máximo	64 Nm @ 8500 rpm	Relación de Transmisión 1:1	Relación 4th (30/27)
Potencia (hp)	72 @ 8500 rpm	N° de cilindros	2
Enfriamiento	Líquido	Sistema de alimentación	Inyección electrónica
Arranque	Eléctrico	Tipo de transmisión	Mecánica

24 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

Encendido	Digital	Nº de cambios	6
-----------	---------	---------------	---


Tabla 2-4: Ficha técnica de Kawasaki Z250.

Ficha Técnica			
	Referencia	Z 250	
	Modelo	2013	
	Marca	Kawasaki	
	Tipo de moto	Naked	
	Peso (kg)	148	
	Posición de manejo	Recta	
	Chasis	Doble viga	
	Capacidad del tanque (L)	11	
	Origen de la marca	Japón	
Especificaciones técnicas del motor			
Tipo de motor	4 tiempos	Cilindrada (cc)	249
Relación de compresión	11.6:1	Torque (Nm)	22 @ 8200 rpm
Par máximo	21 Nm @ 8500 rpm	Relación de Transmisión 1:1	Relación 4th (29/25)
Potencia (hp)	33 @ 11000 rpm	Nº de cilindros	2
Enfriamiento Liquido	Sistema de alimentación	Inyección	Electrónica

**CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES
DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN
CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

Arranque	Eléctrico	Tipo de transmisión	Mecánica
Encendido	Digital	Nº de cambios	6

Tabla 2-5: Ficha técnica de KTM Duke 200.

Ficha Técnica			
	Referencia	DUKE-200	
	Modelo	2019	
	Marca	KTM	
	Tipo de moto	Naked	
	Peso (kg)	129.5	
	Posición de manejo	Deportiva	
	Chasis	Multitubular	
	Capacidad del tanque (L)	11	
	Origen de la marca	Austria	
Especificaciones técnicas del motor			
Tipo de motor	4 tiempos DOCH	Cilindrada (cc)	199
Relación de compresión	11.5: 1	Par de torsión (Nm)	19.5 @ 8000 rpm
Par máximo	20 Nm @ 6800 rpm	Relación de Transmisión 1:1	Relación 5th (22/23)
Potencia (hp)	25.5 @ 10000 rpm	Nº de cilindros	1

26 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

Refrigerante	Líquido	Sistema de alimentación	Inyección electrónica
Arranque	Eléctrico	Tipo de transmisión	Mecánica
Encendido	Electrónico (CDI)	Nº de cambios	6

2.4 Análisis experimental motocicletas

En la escogencia de las motocicletas seleccionadas para las pruebas como son: Kawasaki ER-6N, Kawasaki Z250 y KTM Duke 200, obedeció a especificaciones técnicas que muestran un rango significativo del parque motociclista de Medellín, en cuanto a volumen como por configuraciones de motor. Estas motocicletas integran sistemas de inyección electrónica, diferentes relaciones de compresión y estructura de motor bicilíndrico DOHC en la ER-6N, mono cilíndrico DOHC en la Z250 y la Duke 200, lo que permite comparar cómo varía el rendimiento ante cambios en la composición del combustible. En tal sentido, sus fichas técnicas evidencian variaciones importantes en potencia, par motor, peso total, tipo de refrigeración y capacidad del tanque, factores que determinan el comportamiento energético durante las pruebas.

La variedad mecánica de estas motocicletas permite orientar un análisis en cuanto a la sensibilidad de cada tipo de motor frente proporcionando una base sólida frente al uso de mezclas gasolina–alcohol, favoreciendo la observación tanto de tendencias generales y comportamientos particulares de acuerdo con la cilindrada, características de diseño y la arquitectura del motor. De igual manera, la incorporación de estas tres motocicletas fortalece la validez de la investigación al garantizar que el análisis experimental no se limite a una configuración única, sino que abarque motocicletas representativas de uso urbano, deportivo y cotidiano en el entorno analizado.

2.5 Ciclo de conducción AMVA

El ciclo de conducción AMVA realizado en la Universidad de Antioquia, constituye la parte metodológica principal para la evaluación dinámica del rendimiento y las emisiones en motocicletas dentro de este estudio, al reproducir de manera controlada las condiciones

representativas del tránsito urbano del Valle de Aburrá. Gómez Rueda et al. (2025) señalan que dicho ciclo sintetiza con alta fidelidad la variabilidad de la movilidad real en Medellín, caracterizada por secuencias continuas de aceleraciones, desaceleraciones, periodos de velocidad constante y fases prolongadas de ralentí resultantes de la congestión, la morfología vial y la topografía compleja.

Este carácter dinámico convierte al ciclo AMVA en un protocolo superior frente a ciclos genéricos, especialmente cuando se pretende analizar combustibles alternativos como mezclas gasolina–alcohol cuyos efectos dependen estrechamente de la respuesta transitoria del motor. En concordancia, Agudelo Santamaría et al. (2019) demostraron que el uso de ciclos de conducción locales permite estimar factores de emisión significativamente más realistas que aquellos obtenidos bajo protocolos internacionales o en condiciones exclusivamente estacionarias.

La ejecución del ciclo AMVA en dinamómetros de chasis exige una capacidad elevada de respuesta dinámica por parte del equipo de medición para reproducir con fidelidad las transiciones rápidas del ciclo. En este sentido, el dinamómetro DYNOJET 20i, gracias a su baja inercia rotacional y a su diseño optimizado para motocicletas, permite que las variaciones de aceleración impuestas por el ciclo sean seguidas con precisión, lo que favorece la detección de fenómenos asociados tales como cambios temporales en la relación aire–combustible, variaciones en la velocidad de evaporación o fluctuaciones en la estabilidad de la llama.

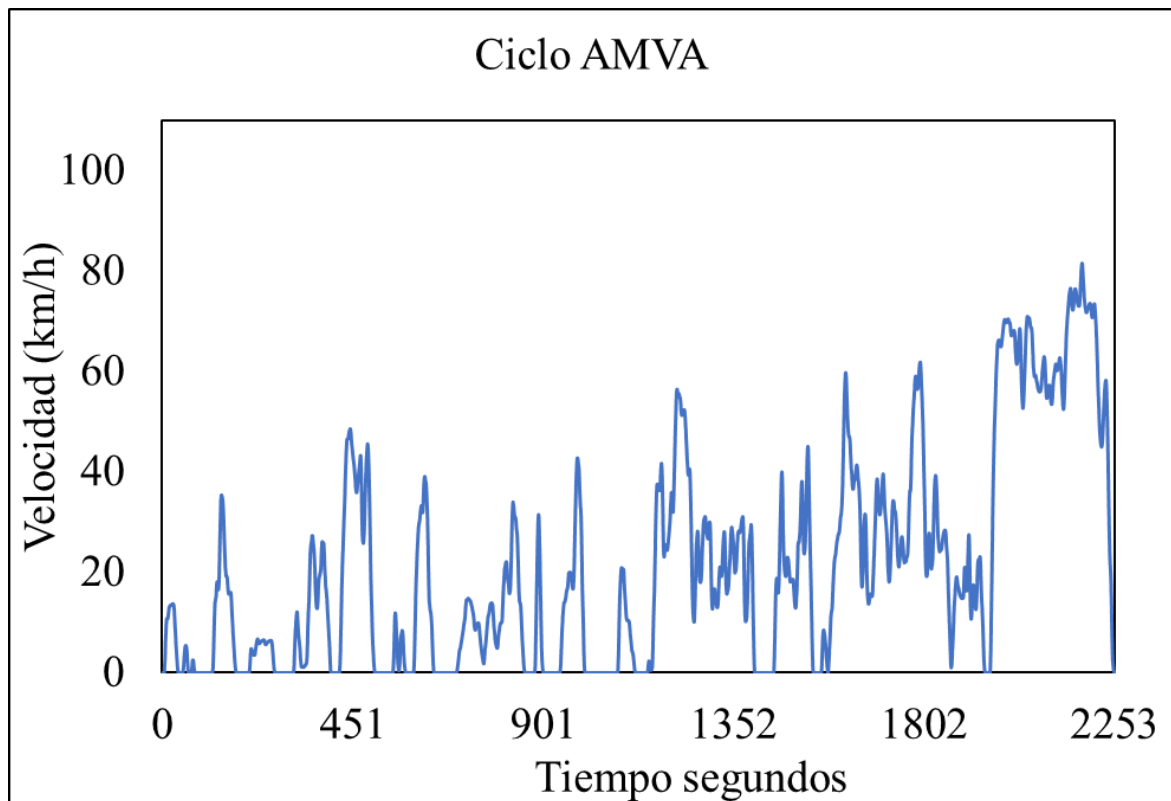
En contraste, el dinamómetro Mustang MD-150, cuya masa rotacional es considerablemente mayor debido a su concepción para automóviles, introduce una respuesta más lenta ante las transiciones del ciclo. Esta condición puede suavizar artificialmente las fases más agresivas del perfil AMVA, lo que obliga a la integración de sistemas complementarios como el SmartTach para obtener una señal exacta del régimen de giro y evitar retrasos inducidos por el rodillo del dinamómetro. No obstante, una vez calibrado adecuadamente, el MD-150 permite registrar de manera simultánea variables mecánicas y ambientales, ampliando el espectro de datos disponibles para interpretar el comportamiento de las mezclas gasolina – alcohol.

28 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

Durante la ejecución del ciclo AMVA se registraron variables fundamentales como potencia, torque, r.p.m., consumo de combustible y concentraciones instantáneas de HC, CO, Y CO₂.

La sincronización entre el dinamómetro, el SmartTach, el analizador de gases y el sistema de adquisición de datos garantizó que cada punto del ciclo AMVA estuviera asociado a una lectura precisa de torque, potencia y emisiones. De este modo, fue posible identificar cómo cada fase del ciclo ralentí, aceleración sostenida, velocidad constante o desaceleración afecta la combustión del motor bajo las mezclas evaluadas. Esta integración metodológica permitió evidenciar diferencias sutiles en el rendimiento térmico y la formación de contaminantes, fortaleciendo la validez experimental del estudio y asegurando que los resultados obtenidos representaran de manera rigurosa las condiciones reales de movilidad del Valle de Aburrá.

Figura 2-2: Ciclo área Metropolitana del Valle de Aburra



2.6 Adquisición, procesamiento y análisis de datos

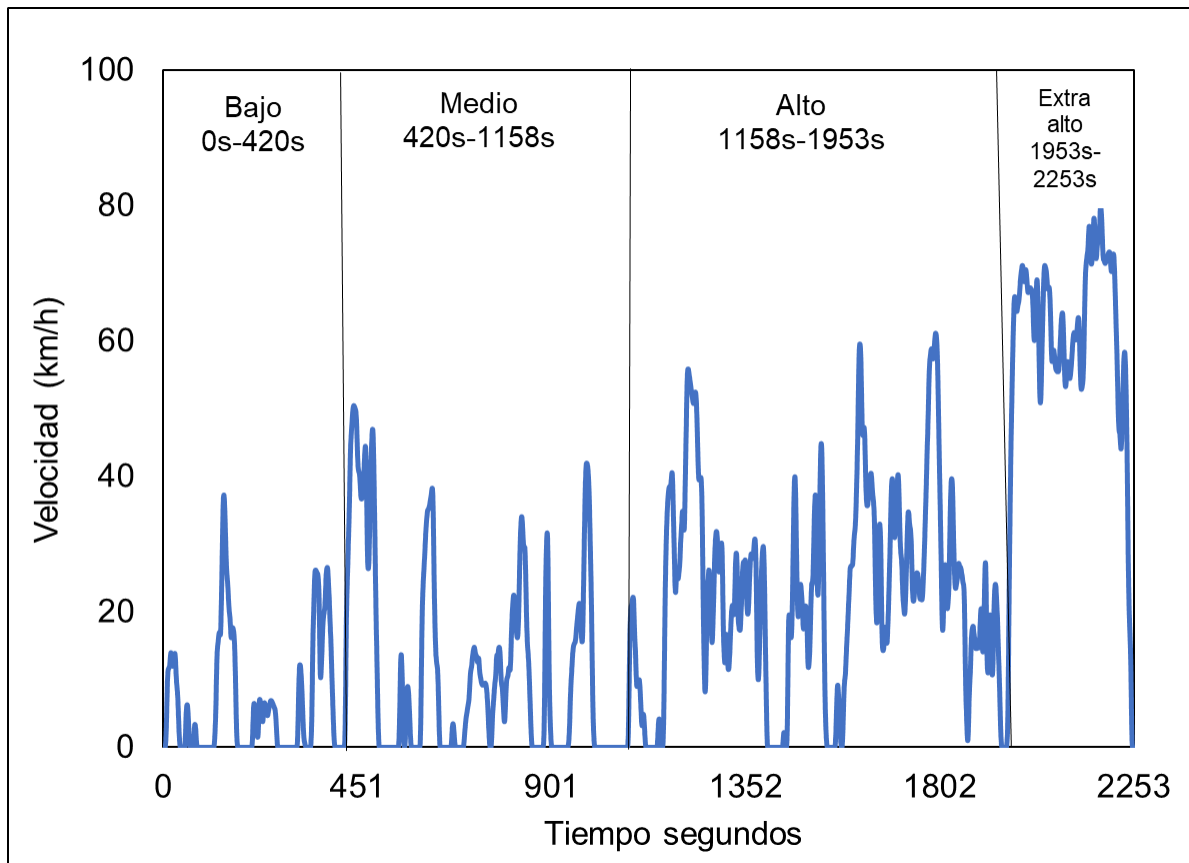
Durante la fase de análisis, la información registrada por los dinamómetros fue exportada para su procesamiento en hojas de cálculo, donde se llevó a cabo un el análisis de los datos obtenidos. Con estos datos se dividió el ciclo AMVA en subciclos como velocidades (bajas, altas, medias y extra altas) velocidad en km/h vs tiempo en segundos, para identificar en cada subciclo el comportamiento de las emisiones, el rendimiento de acuerdo con cada una de las mezclas realizadas con isobutanol – gasolina, esta parte es importante en intervalos de desaceleración y aceleración que es muy común que en la ejecución aparezcan variaciones en el software.

Seguidamente después de analizada la información anterior, se perfeccionó mediante técnicas de suavizado digital que de una apariencia más estable y fácil de interpretar. Respecto a ello, fue posible interpretar con mayor objetividad las tendencias de potencia y emisiones en cada parte del ensayo, asimismo después de este ajuste, los datos se organizaron siguiendo la arquitectura del ciclo AMVA. Esta clasificación facilitó comparar el desempeño del motor bajo diferentes exigencias del ciclo y permitió interpretar los resultados más detalladamente.

El resultado del proceso de filtrado aplicado a la curva de velocidad en km/h, se visualiza que la señal adquiere una forma más precisa, lo cual supone la efectividad del tratamiento de datos. La figura 2-3 no solo respalda el rigor del procedimiento, sino que también demuestra la importancia del filtrado para obtener indicadores confiables y coherentes con el comportamiento real del vehículo durante los ensayos.

Figura 2-3: Subciclo área Metropolitana del Valle de Aburra

30 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS



2.7 Preparación de mezclas gasolina – alcohol – isobutanol

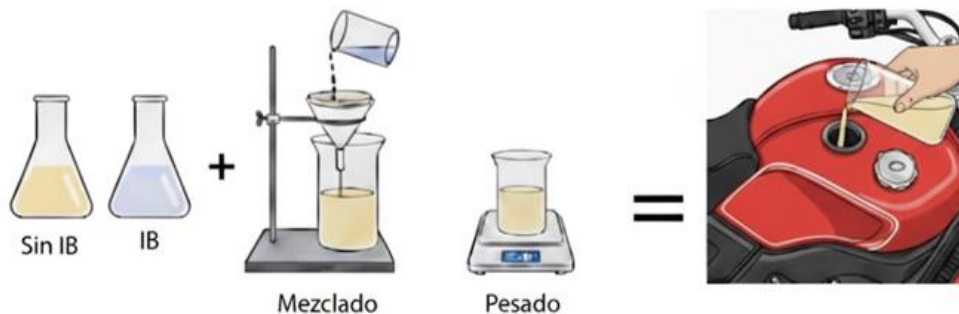
La preparación del combustible se considera un elemento principal dentro del diseño experimental, exigiendo un procedimiento riguroso y trazable. La gasolina extra se mezcló con alcohol e isobutanol en proporciones establecidas con anterioridad, siguiendo criterios de estequiometría y mezclabilidad. Cada mezcla fue preparada utilizando balones volumétricos calibrados, lo que garantizó la precisión volumétrica de cada componente.

Antes de la homogenización, se pesaron los volúmenes correspondientes en una báscula electrónica del laboratorio, los balones fueron agitados suavemente para asegurar la mezcla uniforme sin provocar vaporización excesiva. Una vez estandarizada la cantidad, cada mezcla fue almacenada en recipientes.

Previo a cada ensayo, el combustible fue transferido al sistema de alimentación mediante embudos. Además, se registró el volumen inicial y final en cada prueba mediante

mediciones directas para calcular el consumo específico de combustible, siguiendo el procedimiento establecido.

Figura 2-4: Proceso de mezclado y pesado de gasolina - isobutanol



Las mezclas de Isobutanol – gasolina fueron realizadas tanto en las pruebas estacionarias y dinámicas realizando ensayos en 10%, 20% y 30%.

2.8 Desarrollo del modelo matemático para la estimación de pérdidas de potencia

Para el desarrollo de la presente sección, se utilizaron los datos de potencia obtenidos de los dinamómetros Dynojet 20i y Mustang MD-150, expresados en caballos de potencia por segundo (hp/s).

De igual manera, para comprender el comportamiento real del motor durante las pruebas, se realizó la comparación de potencia evidenciada en los dos dinamómetros y con los resultados obtenidos de potencia se realizó un análisis del comportamiento en cada uno de los dinamómetros, se obtuvo que el dinamómetro Mustang MD-150 daba una potencia 0,5 a 1 lo que demuestra su incremento cada 0.5 segundos, y en el Dynojet 20i el tiempo se da segundo a segundo, luego se procedió a hacer un filtro para que las 2 graficas

32 CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS

mostrarán similitud segundo a segundo, se identificó que había valores negativos por lo cual era valores de desaceleración.

Paso seguido, se validó la pérdida de potencia entre estas 2 gráficas mediante una integral para encontrar el área de las 2 funciones, permitiendo evidenciar el objetivo de esta investigación, las fórmulas utilizadas para obtener las pérdidas de potencia en la motocicleta es validada por la diferencia de diseño estructural de los 2 dinamómetros y ya que al trabajar en el dinamómetro Mustang MD-150, debido a que en su estructura presentan más rodillos que en el Dynojet 20i por mayor inercia que debe realizar la motocicleta se genera pérdida de potencia de la motocicleta.

Por lo anterior se requiere un modelo matemático, que permita establecer estas pérdidas de potencia para futuras investigaciones o reprogramaciones de ECU.

Con esta información, se plantea una ecuación fundamental que permite comparar directamente los resultados obtenidos en ambos dinamómetros y, a partir de dicha comparación, determinar la pérdida de potencia asociada al equipo Mustang MD – 150. La Ecuación 1 sirve como base para identificar las diferencias de rendimiento entre los dos dinamómetros, estableciendo un valor cuantitativo de la pérdida de potencia durante las pruebas. Expresada de la siguiente manera:

Ecuación (1). Diferencia de potencia entre los dinamómetros.

$$\Delta_p = P_A - P_P$$

Donde:

P_A = Potencia medida en el dinamómetro de Dynojet 20i

P_P = Potencia medida en el dinamómetro Mustang MD- 150

Δ_p = Diferencia de potencia entre ambos sistemas de ensayo.

Tomando como referencia los valores obtenidos en el dinamómetro Dynojet 20i y el Mustang MD-150, esta comparación es fundamental para evaluar el desempeño y eficiencia de ambos equipos bajo condiciones de prueba equivalentes.

Una vez obtenido el valor de Δ_p se procede a identificar la diferencia de la potencia acumulada tal como lo refiere la Ecuación 1, la cual tiene como objetivo calcular el valor total de la pérdida de potencia acumulada, durante el tiempo del ciclo de conducción, representando de forma más precisa cuánta potencia se pierde realmente en el dinamómetro Mustang MD-150.

De esta manera, la Ecuación (2) permite actualizar de forma progresiva el valor acumulado de la diferencia de potencia entre los dos dinamómetros a lo largo del ciclo de conducción. Este procedimiento es esencial para determinar con exactitud la pérdida total de potencia que se presenta en el dinamómetro MUSTANG MD- 150 bajo las condiciones de ensayo establecidas.

Ecuación (2). Cálculo del delta de potencia acumulada en el tiempo.

$$\Delta_{pacum} = \Delta_{pacumt-1} + \Delta_p \times 0,5 s$$

Donde:

Δ_{pacum} = Diferencia de potencia acumulada, obtenida a lo largo del ciclo de conducción.

$\Delta_{pacumt-1}$ = Representa el valor acumulado de la diferencia de potencia en el tiempo anterior.

Δ_p = *Corresponde al delta de potencia instantáneo obtenido en la Ecuación (1).*

El modelo matemático se aplica a cada subciclo de conducción, considerando la división del ciclo total en segmentos de velocidad baja, media, alta y extra alta. De esta manera, se identifica el comportamiento de las pérdidas de potencia en cada rango operativo, analizando cómo varía la magnitud de dichas pérdidas a lo largo del ciclo completo. Iniciando con las pruebas comparando la potencia en cada subciclo en cada motocicleta.

2.9 Procedimiento para las pruebas estacionarias

Siguiendo el hilo conductor del proyecto, las pruebas estacionarias constituyeron se realizaron con el fin de validar el desarrollo del motor bajo ambientes de carga a velocidad constantes de giro. Estos ensayos pueden permitir suministrar diferentes variables operativas (carga) y mantener estables el rpm respecto a las cargas suministradas.

El procedimiento inició con la estabilización térmica del motor, permitiendo que alcanzara su temperatura normal de operación. Posteriormente, se fijó el régimen de giro en un punto predeterminado aplicando una carga constante en la Unidad de Absorción de Potencia (PAU).

En este sentido, se analizaron tres motocicletas: Kawasaki ER-6N (649 cc), Kawasaki Z250 (249 cc) y KTM Duke 200 (199 cc), ajustando su desempeño en condiciones estacionarias a través de la medición de torque y emisiones contaminantes, específicamente: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos no quemados (HC)

Como primer paso se verifica la ficha técnica de la motocicleta, y que realmente se cumplan las especificaciones del fabricante y establecer en que cambio si hay una relación de transmisión cercana a 1:1 para trabajar. Por otro lado, se garantiza que la velocidad del motor se transfiera de forma directa a la rueda sin incremento del par, mejorando la exactitud del torque y respuesta del motor.

De acuerdo con las relaciones de transmisión se obtuvo el valor de cada una de las motocicletas y su par máximo de la siguiente manera: Tablas 2-3, 2-4 y 2-5. Con esta relación de transmisión el motor mantuvo constante 2500 rpm a este régimen se aplicaron cargas desde el dinamómetro en los rodillos de 200 N, 300 N, 400 N y 500 N Lo anterior para evaluar la respuesta del motor respecto al torque.

En cada sección de carga se observó el comportamiento del torque en función del tiempo, dando como resultado curvas, manteniendo constante la carga respecto de las revoluciones. Al obtener los datos de estas pruebas se identificó aquellos valores donde el torque permanecía constante a través del tiempo con lo anterior se obtuvo un promedio de cada sección. El valor máximo de torque como se muestra en la ficha técnica de cada motocicleta, con una relación 1:1 se utilizó como referencia. A partir de este valor, se calcularon los puntos de trabajo correspondientes al:

- 25 % del torque máximo
- 50 % del torque máximo
- 75 % del torque máximo

Con los resultados hallados, para modelar la relación entre torque y fuerza aplicada siendo el torque de la motocicleta y la fuerza aplicada por el dinamómetro se empleó la ecuación lineal de la recta ecuación (4).

El valor máximo de torque reportado en la ficha técnica de cada motocicleta, considerando una relación de transmisión 1:1, se tomó como referencia para establecer los niveles de carga de trabajo. A partir de este valor, se calcularon los puntos de operación correspondientes al 25 %, 50 % y 75 % del torque máximo, los cuales fueron seleccionados como condiciones de operación estacionaria para las pruebas experimentales de rendimiento y emisiones.

Ecuación (3). Cálculo de torque asociado a cada porcentaje de carga

$$T_p = T_{max} \left(\frac{p}{100} \right)$$

Donde:

36 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

T_p = Representa el torque al porcentaje de carga seleccionado (Nm).

T_{max} = Torque máximo del motor (Nm)

p = Corresponde al porcentaje de carga (25 %, 50 % y 75 %).

Para establecer la fuerza que debía suministrar el dinamómetro en cada uno de estos puntos, se empleó un modelo lineal basado en la ecuación de la recta:

Ecuación (4). Ecuación lineal torque - fuerza

$$T_p = mF + b$$

Donde:

T_p = Corresponde al torque (Nm).

F = Fuerza ejercida por el dinamómetro (N).

m = Pendiente del sistema (Nm/N).

b = Ordenada al origen

La pendiente del sistema se determinó a partir de los tres puntos de operación (25 %, 50 % y 75 %), empleando la variación global entre el primer y el último punto:

Ecuación (5). Pendiente de operación

$$m = \frac{T_{75} - T_{25}}{F_{75} - F_{25}}$$

Donde:

A partir de la ecuación (4), se despejó la fuerza requerida por el dinamómetro para cada punto de operación:

Ecuación (6). Despeje para la fuerza requerida del dinamómetro

$$F = \frac{T_p - b}{m}$$

Donde:

T_p = Corresponde al torque (Nm).

F = Fuerza ejercida por el dinamómetro (N).

m = Pendiente del sistema (Nm/N).

b = Ordenada al origen

Esta ecuación permitió determinar de manera progresiva y controlada la carga que debía aplicar el dinamómetro, garantizando el alcance de los puntos de operación estacionaria definidos para cada motocicleta y cada mezcla de combustible ensayada.

Dado lo anterior, para la calibración se inició con las pruebas estacionarias ejecutadas por mezclas de gasolina – isobutanol teniendo la motocicleta en 2500 rpm durante toda la prueba y en la marcha de cambio de acuerdo con la relación de transmisión de la motocicleta para obtener como resultado emisiones y rendimiento de la motocicleta.

2.10 Procedimiento para las pruebas dinámicas

A diferencia de las pruebas estacionarias, en estas pruebas el régimen de giro permanece estable, las pruebas dinámicas implican aceleraciones y desaceleraciones recreando por medio del ciclo AMVA condiciones reales. Al producir ensayos con diferentes mezclas de alcohol se obtienen resultados de rendimiento potencia, torque, emisiones de índice de ICO, IHC, y ICO_2 , instantáneas y acumulativas.

Lo anterior, permitió desarrollar uno de los objetivos del proyecto en cada una de las motocicletas realizando un seguimiento y asegurando que los datos tengan validez, con cada uno de los hallazgos obtenidos se graficaron de modo que se manejara cada uno de los subciclos representados en la figura 2-3, la cual evidencia velocidades bajas, medias, altas y extra altas lo que facilitó la evaluación de cada una de esas partes y el análisis del comportamiento de cada uno de los datos del ciclo de conducción.

Luego de realizado el análisis de cada uno de los datos, se hizo necesario empezar con procedimiento teórico variables comparables esencialmente en términos de índices de emisión (kg/km) y rendimiento, con el fin de entregar la teoría de combustión con datos experimentales para obtener resultados exactos que favorecieron validar el rendimiento de cada una de las motocicletas.

La teoría manejada fue la siguiente:

2.10.1 Desarrollo modelo matemático y teórico de la combustión (CHON)

El estudio comienza instaurando la ecuación general de combustión equivalente a cada una de las mezclas.

Ecuación (7). Balance estequiométrico de CHON



Donde:

X, Y, Z = dato molar de C, H y O en el combustible

a = kmoles de aire requerido

bCO₂ = kmoles de CO₂ producidos

cCO = kmoles de CO producidos

dH₂O = kmoles de H₂O producidos

eO₂ = kmoles de H₂O producidos)

fN_2 = kmoles de N_2 transportados desde el aire

Ecuación (8). Balances elementales:

Balance de Carbono

$$x = b + c$$

Balance de Hidrógeno

$$y = 2d$$

Balance de Oxígeno

$$z + 2a = 2b + c + d + 2e$$

Balance de Nitrógeno

$$f = 3.76a$$

Estas ecuaciones permiten determinar los kmoles teóricos de cada especie gaseosa emitida (H_2O , CO_2 y CO .) para cada mezcla evaluada: gasolina pura, B10, B20 y B30. Este paso es fundamental porque cada mezcla presenta diferencias en su composición química.

Ecuación (9). Cálculo de masa correspondiente.

$$m_i = n_i \cdot PM_i$$

Donde:

m_i = masa de la especie i (kg o g)

n_i = kmoles calculados mediante los balances CHON

PM_i = peso molecular de la especie (kg/kmol o g/mol)

40 **CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL RENDIMIENTO Y EMISIONES DE MOTOCICLETAS CON MEZCLAS GASOLINA - ALCOHOL EN CONDICIONES ESTACIONARIAS Y DINÁMICAS**

Razón masa de especie sobre masa de combustible para estandarizar los resultados:

$$r_i = \frac{m_i}{m_{comb}}$$

Donde:

m_{comb} = masa de combustible consumido durante el ciclo

r_i = fracción que indica cuántos kilogramos (kg) de especie se producen por cada kilogramo (kg) de combustible

Este valor es una cantidad no dimensional y constituye la base del cálculo de los índices de emisión. Se procede a el cálculo en la ecuación (10) del rendimiento del combustible (g/km), la masa consumida de combustible.

Ecuación (10). Despeje para la fuerza requerida del dinamómetro

$$\dot{m}_{comb} = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{t}$$

Donde:

$m_{inicial}, m_{final}$ = masa del combustible antes y después de la prueba

t = tiempo total del ciclo

\dot{m}_{comb} = flujo másico del combustible (g/s)

Como siguiente paso se realiza el rendimiento

Ecuación (11). El rendimiento en g/km $R = \frac{\dot{m}_{comb} \cdot 3600}{V}$

Donde:

V = velocidad media del ciclo (km/h)

R = gramos de combustible consumidos por kilómetro recorrido

Este valor es importante ya que relaciona la masa emitida hipotéticamente con la distancia recorrida.

El resultado expresa la masa de CO_2 , CO e HC emitida por kilómetro, que es la unidad empleada para comparar combustibles y evaluar impacto ambiental.












3. Resultados





























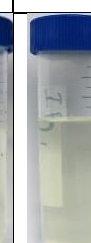

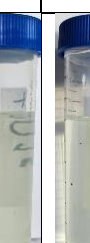







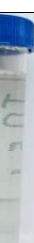




















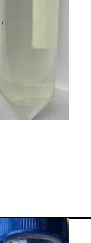





3.1 Seguimiento visual del comportamiento de mezclas de gasolina-isobutanol

Es importante en el análisis de mezclas de gasolina con isobutanol, establecer una comparación semana a semana para determinar el rendimiento de estas mezclas, para garantizar la efectividad en las tres motocicletas valoradas.

Para analizar el resultado de estas mezclas a lo largo de ocho semanas, se supervisaron visualmente mezclas de gasolina e isobutanol con concentraciones volumétricas variables entre 0 % y 50 % (en aumentos del 5 %), cuyos resultados se presentan en la Figura 3-1. Paso seguido, se expusieron e interpretan los hallazgos, fundamentados en las propiedades fisicoquímicas de las mezclas y en la evidencia técnica existente.

Figura 3-1 Seguimiento visual de las mezclas de gasolina-isobutanol

	IB0 %	IB5 %	IB10 %	IB15 %	IB20 %	IB25 %	IB30 %	IB35 %	IB40 %	IB45 %	IB50 %
11/10/2025											

18/10/2025													
25/10/2025													
01/11/2025													
08/11/2025													
15/11/2025													



3.1.1 Semana 1

En la semana 1 todas las muestras mantenían un líquido a nivel invariable y no se observó evaporación en las probetas. Las mezclas se visibilizan con transparencia y semejantes, incluyendo las concentraciones altas de isobutanol (hasta 50 %). Este comportamiento coincide con lo esperado para mezclas gasolina–isobutanol, evidenciando en general, la solubilidad mutua entre ambos componentes es buena y no se espera división de fases al iniciar bajo condiciones normales de almacenamiento.

3.1.2 Semana 2

En este ciclo se comienza a notar una variación mínima en algunas mezclas con poco contenido de isobutanol (0 %, 5 %, 10 %, 15 %), se observó que tenían un tono más amarillento. Por otro lado, las mezclas con mayor proporción de isobutanol conservan una apariencia más cristalina. Este cambio de color en mezclas con baja concentración se atribuye a la leve oxidación de la gasolina, también puede atribuirse a rastros de impurezas, lo cual empieza a visualizarse después de un periodo de reposo.

3.1.3 Semana 3

En esta semana se observó, que el de color amarillo del 0 al 10% que en las mezclas iniciales tenían menos contenido de isobutanol se va intensificando gradualmente. Los ensayos con concentraciones intermedias y altas del 10 al 50% siguen manteniéndose de color transparente, no se divisa separación ni residuos. No obstante, la presencia de isobutanol favorece la estabilidad de las mezclas, como oxidación y cambios de color comparados con gasolina pura.

3.1.4 Semana 4

Complementando lo anterior, en esta etapa algunas probetas (especialmente las de mezclas de 0 a 25 % de isobutanol) muestran un leve descenso en el nivel de combustible, lo que sugiere evaporación gradual. Durante este lapso, las mezclas de menor concentración mantienen un tono amarillento, mientras que las de mayor concentración del 10 al 50% siguen cristalinas.

3.1.5 Semanas 5 y 6

En las dos semanas siguientes la tendencia permanece constante, las mezclas con menor porcentaje de isobutanol siguen mostrando color amarillento y ligero descenso de nivel, así como las mezclas con porcentajes intermedios y altos permanecen relativamente se muestran transparentes y con mínima pérdida de volumen. En este tiempo, no se muestran sedimentos ni división de fases lo que denota estabilidad física.

3.1.6 Semana 7

En este rango de tiempo se observó que la tonalidad amarilla esta más pronunciada en las mezclas de (0–10 % de isobutanol). Las mezclas realizadas hasta 30 % conservan claridad, mientras que las de concentraciones más elevadas (mayor al 35 %) continúan de color cristalino. No se divisa ninguna clase de precipitación, sedimentos turbios ni separación de fases. Concluyendo que las mezclas con concentraciones moderadas de isobutanol mantienen su estabilidad física inclusive durante un tiempo de reposo.

3.1.7 Semana 8

Finalmente, el ensayo mostró una evaporación observable en las probetas con bajas concentraciones de isobutanol (0 %, 5 %, 10 %), en esta etapa los volúmenes de combustible se redujeron a menos de la mitad de la concentración inicial suministrada. También se evidenció que estas mezclas mantienen su color amarillento, asimismo en las mezclas con mayor porcentaje de isobutanol, con concentración desde 10 %, 15 % y hasta 50 % muestran una mínima disminución del volumen y se ve más transparente. En particular, la mezcla con 50 % de isobutanol se destaca por su claridad.

3.2 Análisis comparativo del rendimiento de motocicletas.

En este apartado, se muestran los hallazgos obtenidos del comportamiento de la potencia para las tres motocicletas de inyección electrónica (Kawasaki ER-6n, Kawasaki Z250 y KTM Duke 200), durante el desarrollo de las muestras del ciclo de conducción del área metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). En este sentido, el ciclo de conducción se dividió en cuatro subciclos, que pertenecen a velocidades bajas, medias, altas y extra altas, con el fin de validar detalladamente la evolución de la potencia a través del tiempo de los ensayos.

El análisis conlleva a comparar el desempeño general de las motocicletas bajo condiciones de aceleración y desaceleración, en cada subciclo de velocidad y potencia entregada por cada motocicleta. Tal como se muestra en la **Figuras 3-2, 3-3, 3-4 y 3-5**. Estas figuras permiten comparar el desempeño general en condiciones reales de conducción simuladas en el dinamómetro de rodillos Mustang MD-150.

Figura 3-2 Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas

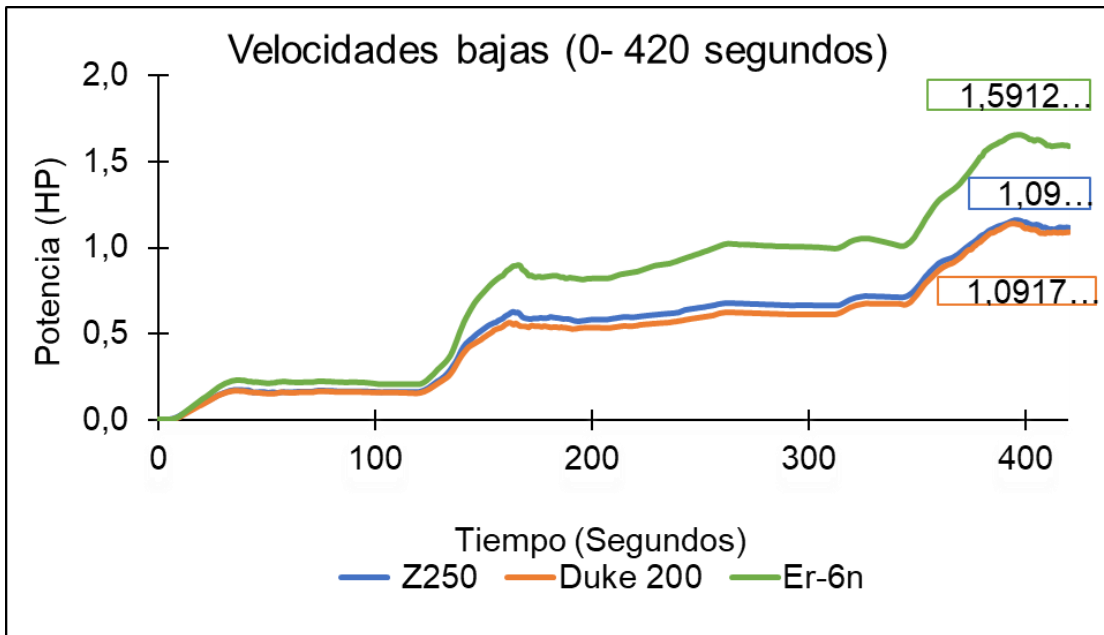


Figura 3-3 Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas

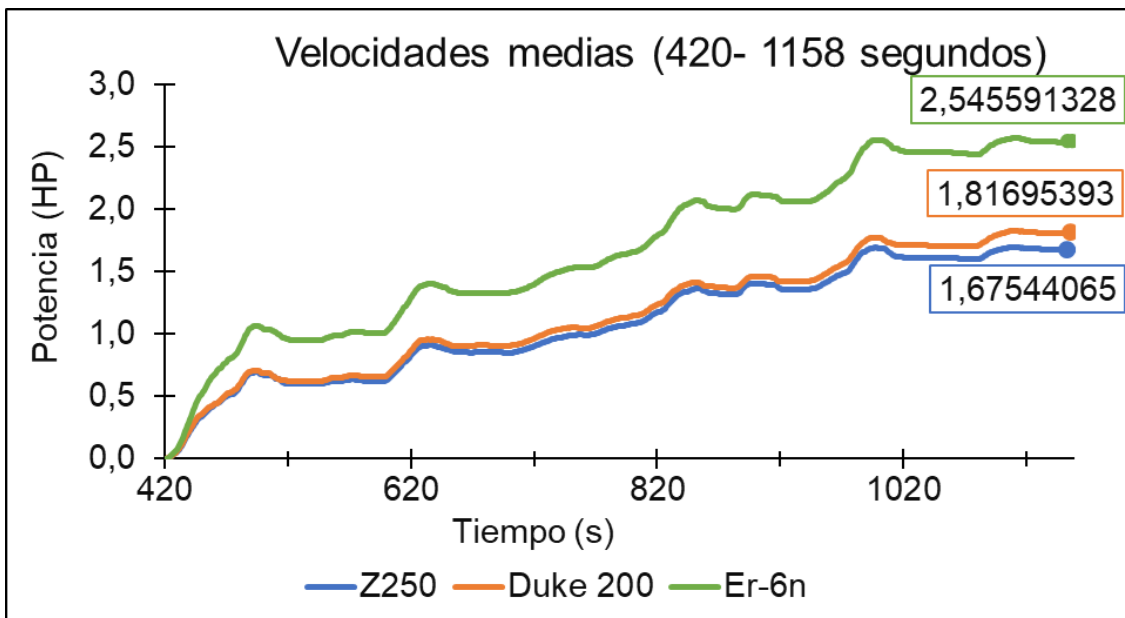


Figura 3-4 Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas

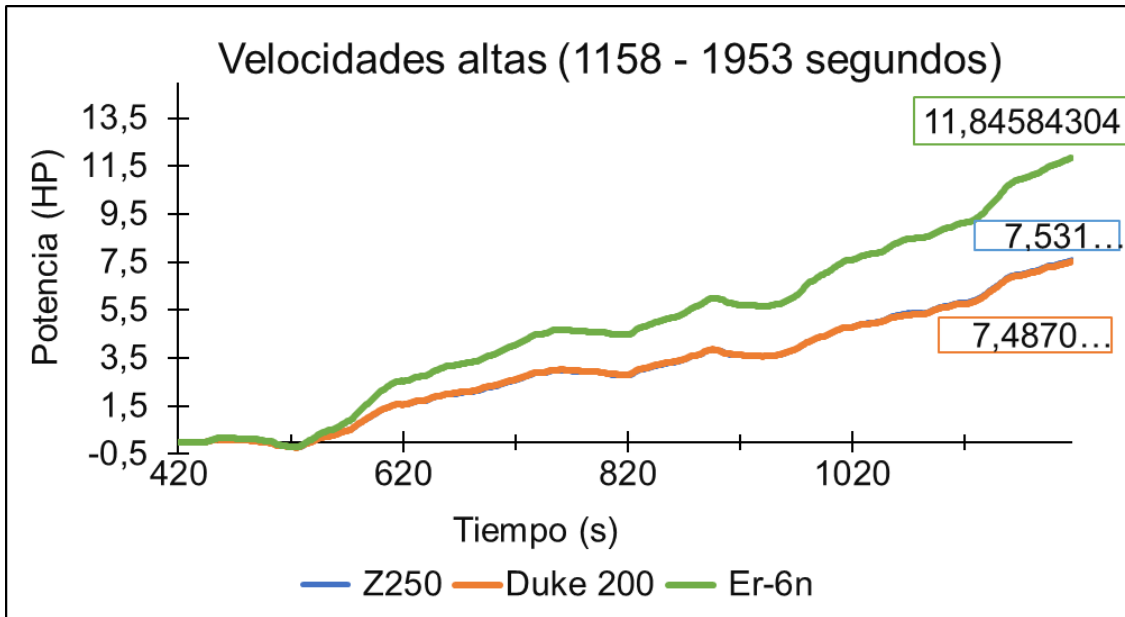
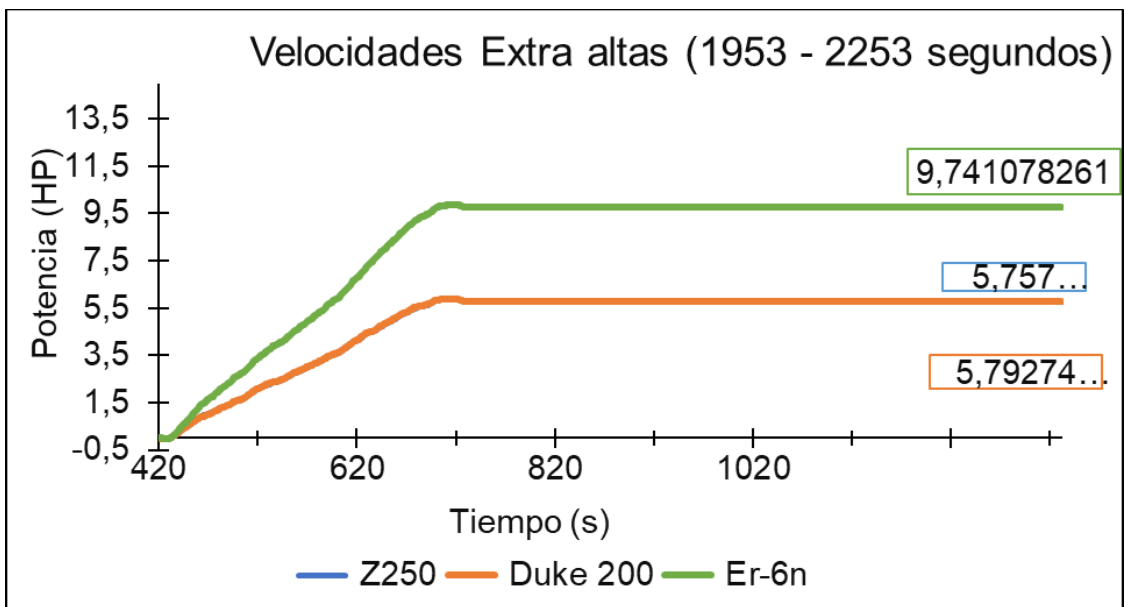


Figura 3-5 Análisis de potencia vs tiempo de las motocicletas



3.2.1 Análisis comparativo de la potencia Kawasaki Z250

Al analizar el desempeño de la Kawasaki Z250 a lo largo del subciclo comprendido entre (0 - 420 segundos), tal y como muestra la **Figura 3-2** adecuado para velocidades bajas, la curva empieza desde cero y avanza de manera gradual hasta aproximarse a 1.117 HP. En tal sentido, se evidenció que la potencia se acrecienta de manera moderada, característico en un motor a revoluciones bajas, evidenciando que el envasado de los cilindros no es la óptimo. La curva de potencia es moderada, demostrando que la inyección de combustible y la respuesta del motor son precisos para asegurar un funcionamiento estable y gradual, en lugar de buscar aceleraciones imprevistas.

Por otra parte, en la Figura 3-3 muestra el rango de velocidad (420–1158 s), lo cual denota que la potencia evoluciona hasta cerca de 1.675 HP. En este trayecto la pendiente sigue siendo lineal, lo que advierte que el motor comienza a trabajar de forma más efectiva, este comportamiento confirma que la Z250 fue producida para responder forma sucesiva, sin tener variaciones inesperadas de potencia que comprometen la eficiencia y sobrecarga mecánica en un contexto de conducción intermedia.

En la parte final de la prueba, en altas velocidades entre (1158 a 1953 segundos) Ver Figura 3-4, la Kawasaki Z250 llega a generar cerca de 7.5 HP, cabe destacar que la motocicleta está funcionando aceleradamente, la potencia permanece constante sin sobresaltos. Esta cifra comparada con la Duke 200 el funcionamiento observado es óptimo, mientras que con la ER-6n es baja, esta característica es normal porque tiene un motor de menor tamaño (cilindrada), lo esencial es que aún con alto esfuerzo no muestra pérdidas de fuerza y demuestra condiciones óptimas de funcionamiento.

En el subciclo de velocidades extra alto (1953–2253 segundos), como lo muestra Figura 3-5 la curva se estabiliza alrededor de los 5.758 HP, durante el desarrollo de este subciclo Este comportamiento plano muestra que la motocicleta ha alcance evidenció que se llega a un punto no es necesario suministrar más potencia para sostener la velocidad, y que su motor opera en un equilibrio entre carga y funcionamiento del motor. Para un motor de 250 cc, este comportamiento es estándar ya que, una vez consolidado el régimen deseado, el sistema se normaliza sin elevar más la potencia, suministrando protección del motor, lo que se convierte en una elevada durabilidad a largo plazo.

3.2.2 Análisis comparativo de la potencia KTM DUKE 200

La motocicleta KTM Duke 200, en el análisis del ciclo refleja un agilidad y ligereza respecto de las otras motocicletas. En la fase de bajas velocidades (0–420 segundos) tal como muestra la Figura 3-2, su curva de potencia es muy similar a la de la Z250, llegando a unos 1.092 HP. Debido a regímenes bajos, el cilindraje influye poco y el rendimiento depende principalmente de la fuerza inicial. No obstante, su reacción es más enérgica en algunas situaciones, puede ser originado a su construcción liviana y una calibración que se enfoca en la aceleración desde bajas revoluciones.

Continuando con el rango correspondiente a velocidades medias (420–1158 segundos), En la Figura 3-3. la potencia se eleva hasta cerca de 1.817 HP. En este periodo se evidencia que esta motocicleta permite aumentar revoluciones sin esfuerzo por su motor de alta compresión y componentes internos diseñados para reducir masas inerciales.

Al examinar el subciclo de velocidades altas (1158–1953 segundos), la Figura 3-4. muestra que la Duke alcanza unos 7.532 HP, un valor equivalente al obtenido por la Z250. No obstante, en la figura la moto evidencia que tiene la aceleración estable durante el periodo, esto demuestra que, aunque es un motor pequeño está estructurado para el ejercicio bajo carga continua, sin presentar irregularidades o caídas en cuanto a potencia.

Por consiguiente, considerando velocidades extra altas (1953–2253 segundos), en la Figura 3-5. la motocicleta se estabiliza en torno a 5.793 HP. Dado lo anterior, una vez lograda la velocidad objetivo, el motor funciona de manera constante sin tener que aumentar potencia. Su motor está construido para trabajar exigido por largos periodos sin que la potencia cambie, lo cual denota eficiencia mecánica.

3.2.3 Análisis comparativo de la potencia Kawasaki ER-6n

El análisis de la Kawasaki ER-6n evidencia un desempeño robusto desde los primeros instantes del ciclo, acorde con su arquitectura bicilíndrica de 649 cc. En el tramo inicial (0–420 s), Figura 3-2. la motocicleta ya exhibe una diferencia marcada respecto a los otros modelos, alcanzando aproximadamente 1.591 HP. La mayor cilindrada y la disponibilidad inmediata de torque explican la velocidad con la que la curva asciende, mostrando que el motor genera fuerza suficiente incluso sin necesidad de alcanzar altos regímenes de RPM.

La pendiente relativamente pronunciada revela un comportamiento consistente con motores de mediana cilindrada que priorizan la entrega de torque desde bajas velocidades.

En el subciclo de velocidades medias (420–1158 s), Figura 3-3. la potencia llega a alrededor de 2.546 HP. La curva mantiene una tendencia ascendente sin irregularidades, lo cual indica que el motor está comenzando a trabajar dentro de una zona cercana a su rango óptimo de torque. A diferencia de la Z250 y la Duke 200, cuya progresión es más plana, la ER-6n muestra un aprovechamiento superior del flujo de aire-combustible y un comportamiento más contundente frente a incrementos de carga. La diferencia respecto a las otras dos motocicletas comienza a ampliarse de manera significativa en este punto.

Cuando se ingresa al tramo de velocidades altas (1158–1953 s), Figura 3-4. la ER-6n alcanza valores cercanos a 11.846 HP, lo que la posiciona muy por encima del resto. La pendiente de la curva refleja una capacidad clara para incrementar potencia a medida que la exigencia del ciclo se intensifica. Este comportamiento se explica por su volumetría, su par motor elevado y su diseño orientado a conducción a velocidades sostenidas en carretera. En esta sección, el motor está operando en una zona donde su eficiencia se maximiza, demostrando un desempeño sobresaliente y estable.

En el tramo final, correspondiente a velocidades extra altas (1953–2253 s), Figura 3-5. la potencia se estabiliza cerca de 9.741 HP. A diferencia de los motores de cilindrada baja, este valor no representa un límite mecánico, sino un ajuste natural del motor a la carga requerida por la velocidad constante. La curva plana y estable es indicativa de un motor que posee amplio margen de reserva, permitiendo sostener altas velocidades sin comprometer eficiencia ni estabilidad térmica. Este comportamiento es característico de motocicletas desarrolladas para recorridos prolongados y demandas energéticas elevadas.

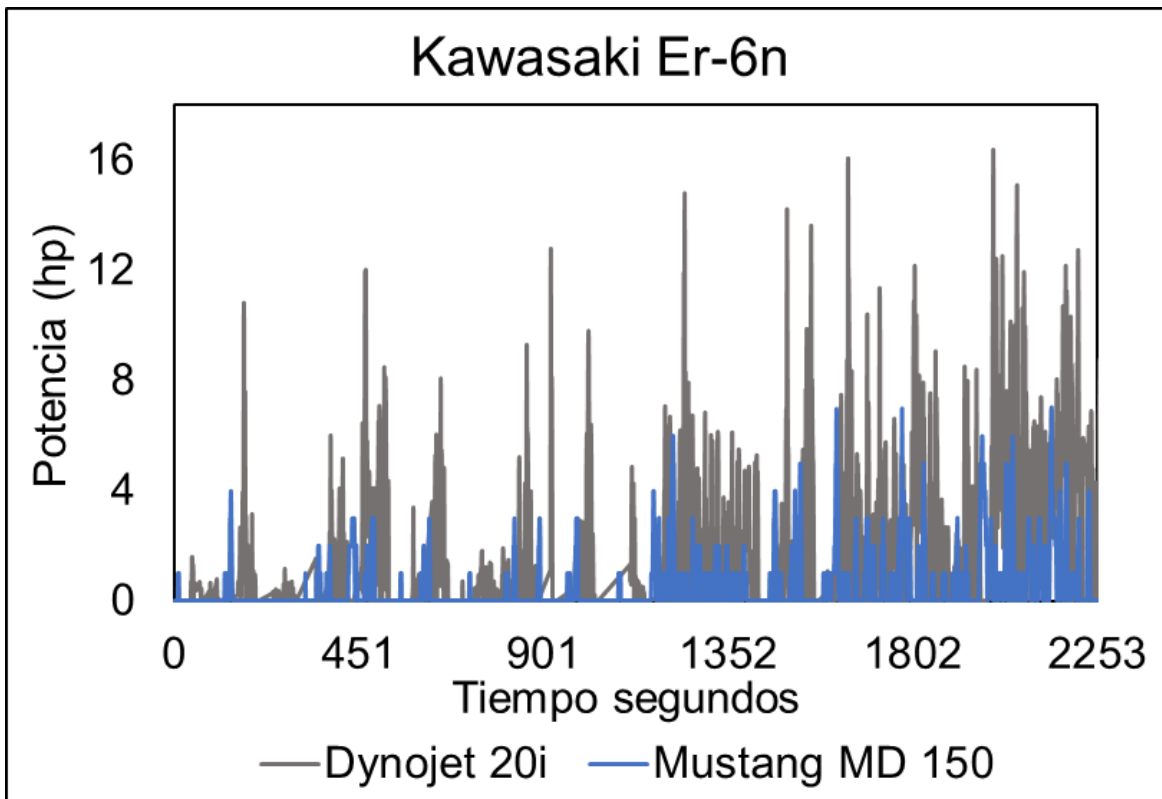
3.2.4 Análisis comparativo de potencia y torque en cada uno de los dinamómetros

En este del proyecto, se examinaron las curvas de potencia y torque tomadas de los resultados obtenidos para cada motocicleta, al simular el ciclo de conducción AMVA en dos dinamómetros de estructuras diferentes: el Dynojet 20i, diseñado específicamente para motocicletas en cambio el Mustang MD-150, de rodillos utilizado generalmente por automóviles. El objetivo es evaluar y confrontar el comportamiento dinámico registrado por los dinamómetros y ponderar las diferencias entre las pérdidas de potencia y torque a

través las pruebas ejecutadas. Estas figuras permiten observar el comportamiento real de cada motocicleta durante el ciclo completo, estos resultados son la base para validar la precisión y la influencia que tiene el tipo de banco de rodillos sobre el rendimiento de las motocicletas.

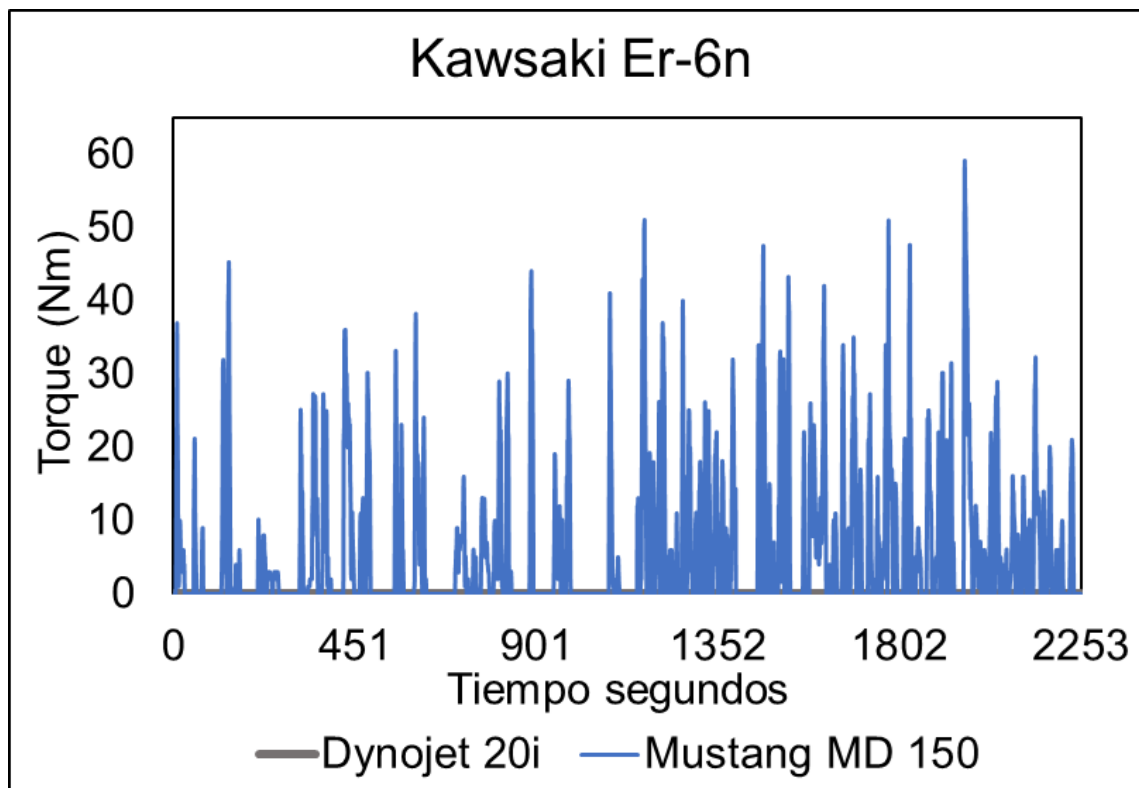
En las pruebas se evidenció que la potencia desarrollada por la Kawasaki ER-6n muestra un proceder altamente transitorio durante las pruebas del ciclo AMVA, con señales distribuidas durante los 2253 segundos del ensayo. Al mismo tiempo que avanza el análisis, se observa que el dinamómetro Dynojet 20i registró valores superiores, alcanzando un máximo de 16,07 hp, mientras que el Mustang MD-150 solo llegó aproximadamente a 7 hp este contraste se puede visualizar en la Figura 3-6, donde la curva del Mustang se hace visible de una manera más atenuada, a causa de la distribución de masa e inercia de sus cuatro rodillos, lo que produce pérdidas por aceleración y resistencia al movimiento.

Figura 3-6 Comparativa de potencia vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Er-6n)

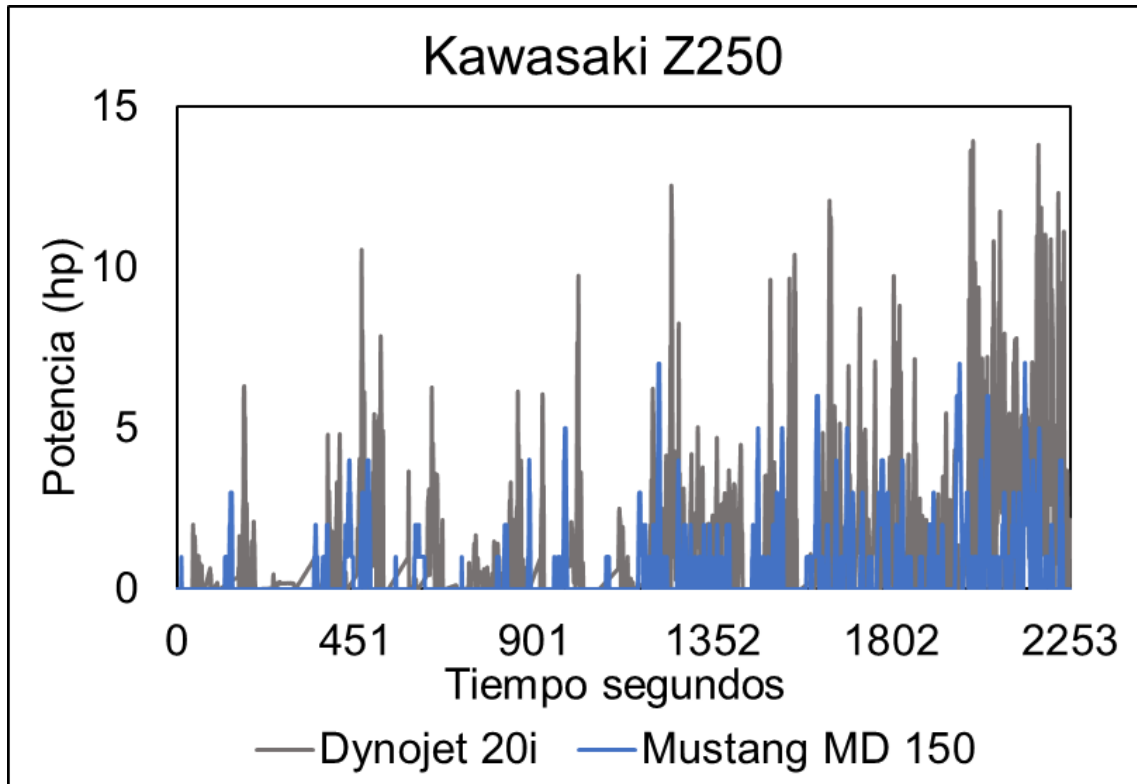


Por otra parte, el par registra un comportamiento distinto al de la potencia, durante el ciclo el dinamómetro Mustang MD-150, requirió de un mayor esfuerzo a la rueda, lo que se interpreta en picos elevados cercanos a 68 Nm, mientras que el Dynojet 20i apenas alcanza los 15 Nm. Esta correlación se muestra en la **Figura 3-7**, en la cual la curva del Mustang demuestra mayor magnitud. Por lo tanto, este hallazgo es congruente con el diseño del equipo, donde al tener mayor resistencia rotacional y más elementos a poner en marcha, el dinamómetro demanda más fuerza de torsión para dominar la resistencia de los rodillos, así la medición de potencia sea menor.

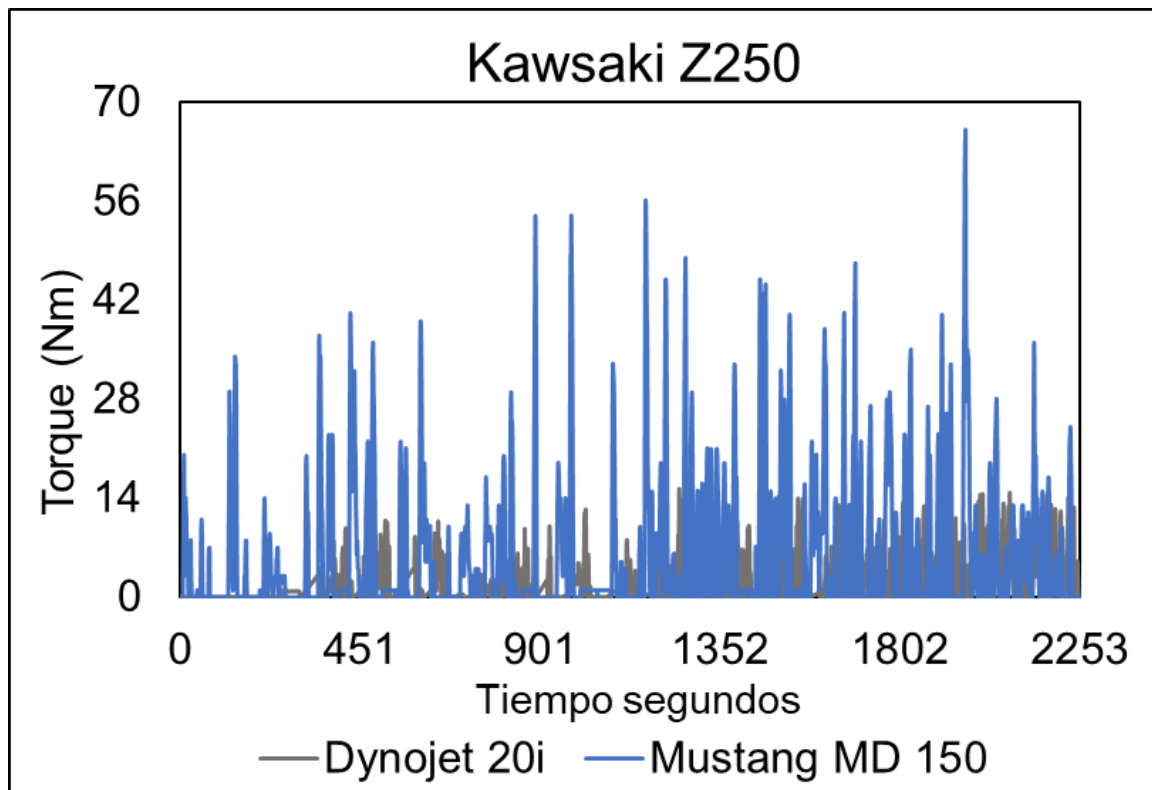
Figura 3-7 Comparativa de torque vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Er-6n)



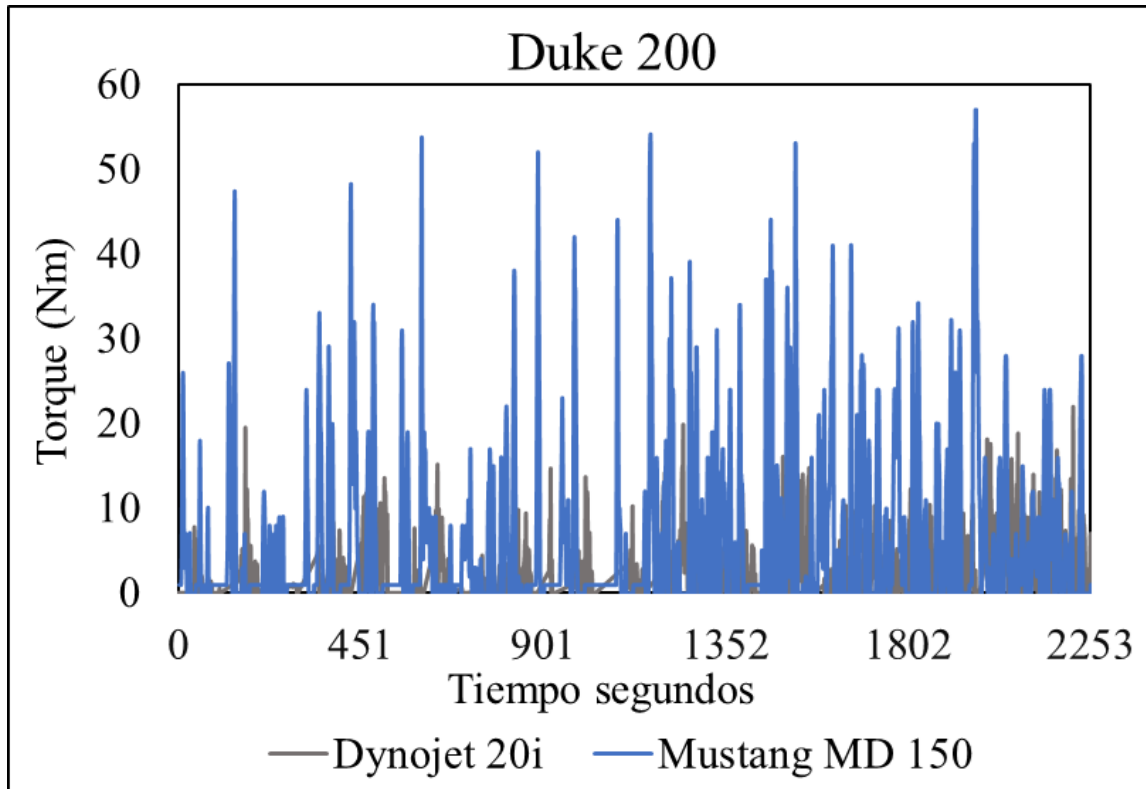
Referente al torque, el cual indica una conducta diferente al de la potencia. Durante el ciclo el Mustang MD-150 requiere un notable esfuerzo a la rueda, lo que demuestra unos en picos elevados equivalentes a 68 Nm, mientras que el Dynojet 20i no tiene un valor superior de cero. Esta relación se puede observar en la **Figura 3-8**, donde la curva del Mustang muestra amplitudes altas.

Figura 3-8 Comparativa de potencia vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Z250)

En esta prueba el torque comprueba la misma tendencia anteriormente observada: el dinamómetro Mustang MD -150, anota valores proporcionalmente mayores, obteniendo cerca de 68 Nm, en tanto que el Dynojet 20i sostiene los valores aproximadamente a 15 Nm. Estos hallazgos pueden ser visualizados en la **Figura 3-9**, donde el Mustang presenta picos más elevados y constantes. La causa de esta divergencia se ocasiona en el dinamómetro Mustang por su diseño de varios rodillos lo cual acrecienta la resistencia y, por lo tanto, la potencia indispensable que debe ejercer la motocicleta para vencerla.

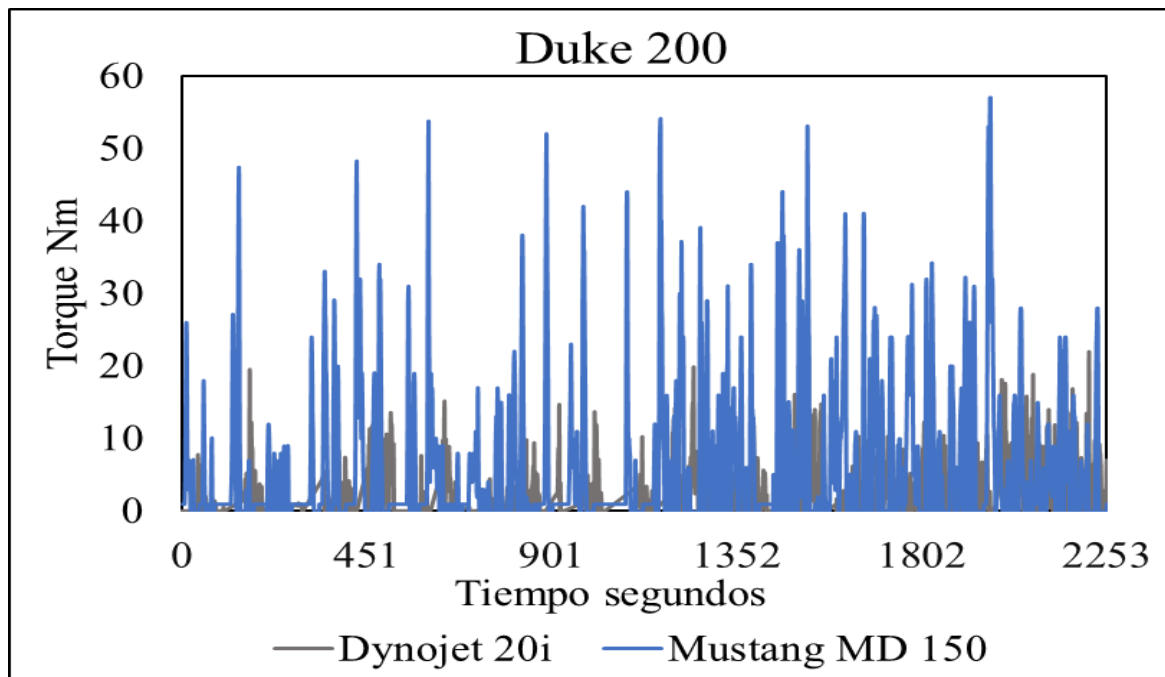
Figura 3-9 Comparativa de torque vs tiempo de los dinamómetros (Kawasaki Z250)

Entre tanto, la motocicleta Duke 200 muestra un comportamiento parecido al de las otras motocicletas inspeccionadas. El Dynojet 20i reporta un valor de **13,01 hp**, en cambio que el dinamómetro Mustang logra un valor aproximado **9,56 hp**. Como se aprecia en la **Figura 3-10**, la curva del Dynojet 20i es más marcada, mejor definidos en sus picos máximos de potencia. A diferencia de el Mustang MD-150 que registra valores menores lo anterior ocasionado por el desgaste mecánico relacionado a su mayor inercia rotacional. Este análisis aumenta la exactitud del dinamómetro Dynojet 20i para señalar las variaciones de potencia normales en este tipo de motocicletas.

Figura 3-10 Comparativa de potencia vs tiempo de los dinamómetros (Duke 200)

En la medición del torque, el Mustang MD-150 vuelve a superar al Dynojet 20i, apuntando valores próximos a 59 Nm, mientras tanto el Dynojet 20i, obtiene un valor aproximado de 21,9 Nm. Esta diferencia se muestra visiblemente en la **Figura 3-11**, donde la curva del Mustang muestra subidas pronunciadas. Obviamente, esto se revela en la potencia mecánica del Mustang, por lo cual la motocicleta debe desplegar un torque mayor para girar los rodillos demostrándose en los resultados obtenidos.

Figura 3-11 Comparativa de toque vs tiempo de los dinamómetros (Duke 200)



3.3 Emisiones y rendimiento resultados pruebas estacionarias

La Figura 3-12 muestra la potencia medida de las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 en situaciones invariables, en los valores de carga (25%, 50% y 75%). Los valores que se usaron corresponden solo al comportamiento donde la potencia permaneció constante además de su respectiva desviación.

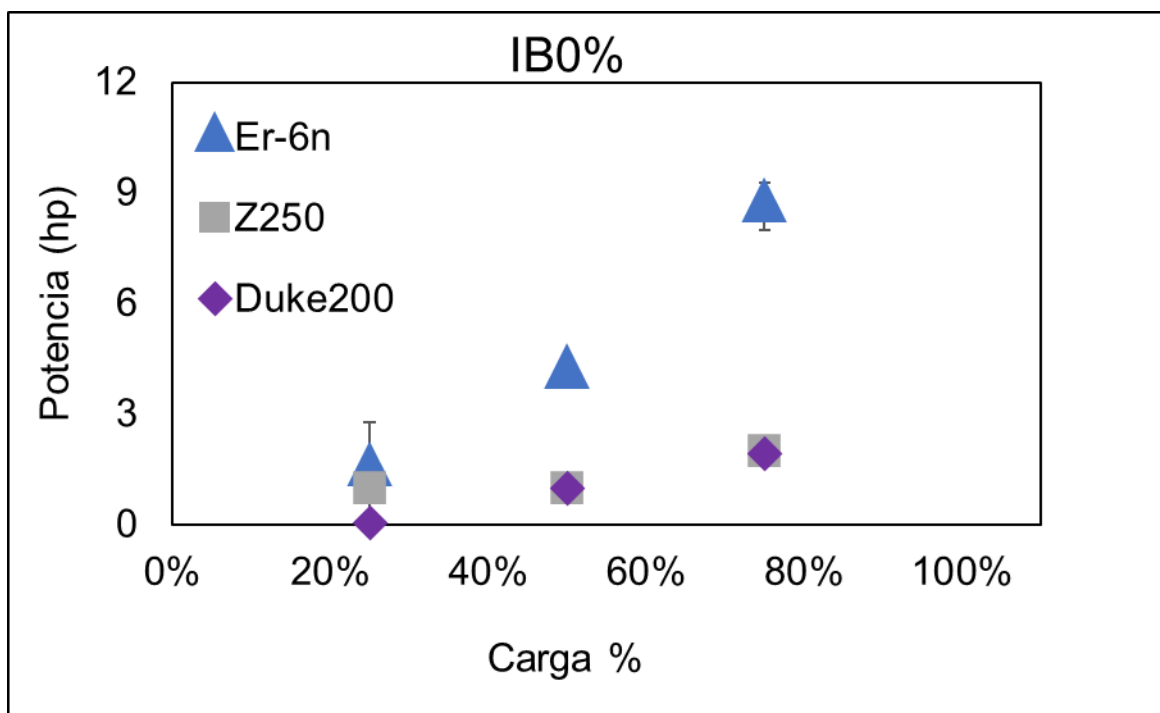
En este contexto, en la obtención de resultados la ER-6n muestra los picos de potencia más altos en los tres niveles de carga, logrando valores 1.5 hp, 4.1 hp y 8.64 hp de manera respectiva. La Z250 muestra una conducta intermedia, con valores de 1 hp, 1 hp y 2 hp, entre tanto la Duke 200 exhibe potencias más bajas, en relación con 25 % de carga, donde apenas alcanza 0.058 hp, mientras que aumenta hasta 1.92 hp en el 75 %.

En el análisis de los hallazgos obtenidos, se observó que existe una conexión directa entre el rendimiento del motor y la capacidad de trabajo bajo cargas elevadas. La ER-6n, tiene un motor potente y un buen torque, permite que la potencia aumente conforme a que la carga aumente, en tanto que la Z250 conserva una respuesta aplacada en todo el trayecto,

mientras que la motocicleta Duke 200 demuestra menor desempeño en cargas bajas, a causa de que su motor es de menor tamaño.

En cuanto a la dispersión de los datos obtenidos, las mediciones reflejan que la ER-6n es la motocicleta con mayor variabilidad, específicamente al 25 % de carga (1.29 hp), causado por cambios pequeños mientras se estabilizaba el motor. En contraste con la Z250 mostró un desempeño constante, sin desviaciones en todas las mediciones, asimismo la Duke 200 mostró pequeñas variaciones al 25 % y 75 % de carga, aunque esto no afectó su desempeño en general.

Figura 3-12 Análisis de la potencia con 0% de isobutanol



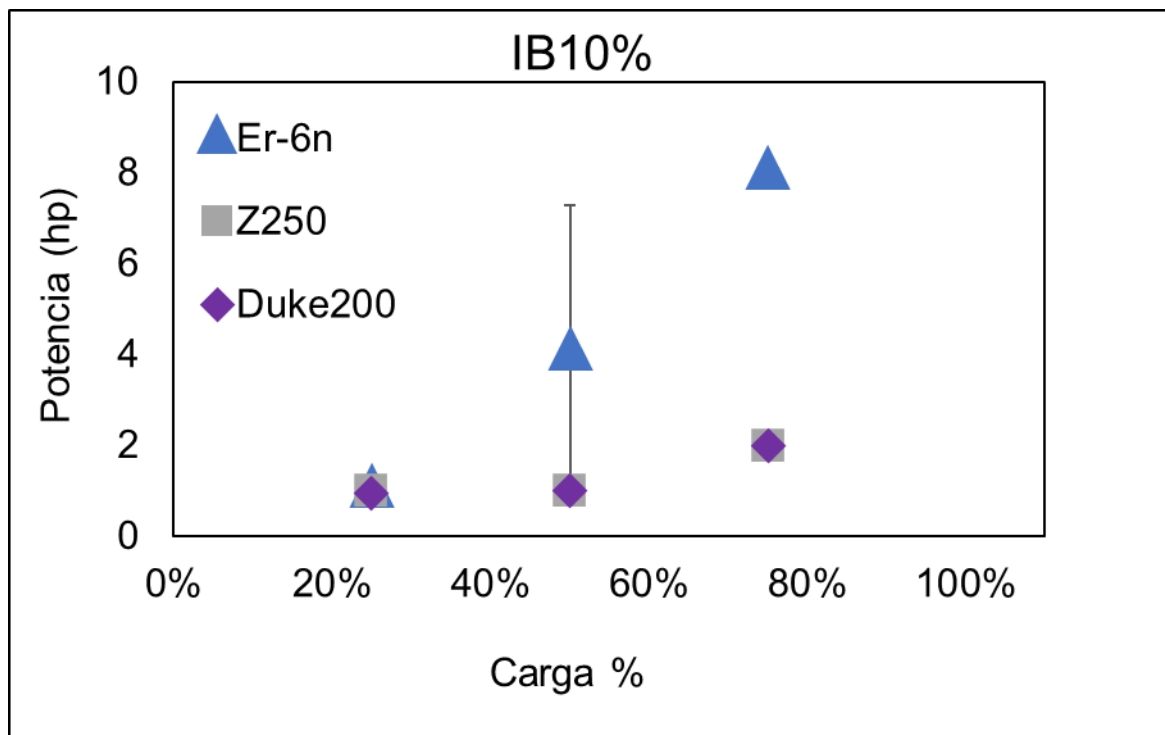
estacionarias y tres niveles de carga. La figura mostró solo los valores estables alcanzados durante el ensayo, de ahí se calculó promedio y la variación de los datos.

Con relación al desempeño de la potencia, se visualizó que la ER-6n incrementa su respuesta de acuerdo con el aumento de carga, consiguiendo valores de 1 hp, 4 hp y 8 hp.

La Z250 muestra un aumento más gradual, con 1 hp, 1 hp y 2 hp, mientras que la Duke 200 exhibe una tendencia de aumento parecido al de la ER-6n, con 1 hp, 4 hp y 8 hp en los mismos niveles de carga valorados.

De este modo, se demostró que con esta mezcla las diferencias entre motocicletas disminuyen en cargas bajas, donde las tres mostraron datos muy similares. No obstante, cuando la carga aumenta, se evidencia de nuevo su desempeño mecánico de la ER-6n y la Duke 200, demuestran potencias muy superiores a la Z250 en el 75 %. Por lo tanto, La ER-6n en un nivel intermedio presenta la mayor variación de datos, con una desviación más alta equivalente a (3.29 hp), mientras que la Z250 y la Duke 200 operan de manera más constante, con casi ninguna desviación en gran parte del trayecto.

Figura 3-13 Análisis de la potencia con 10% de isobutanol



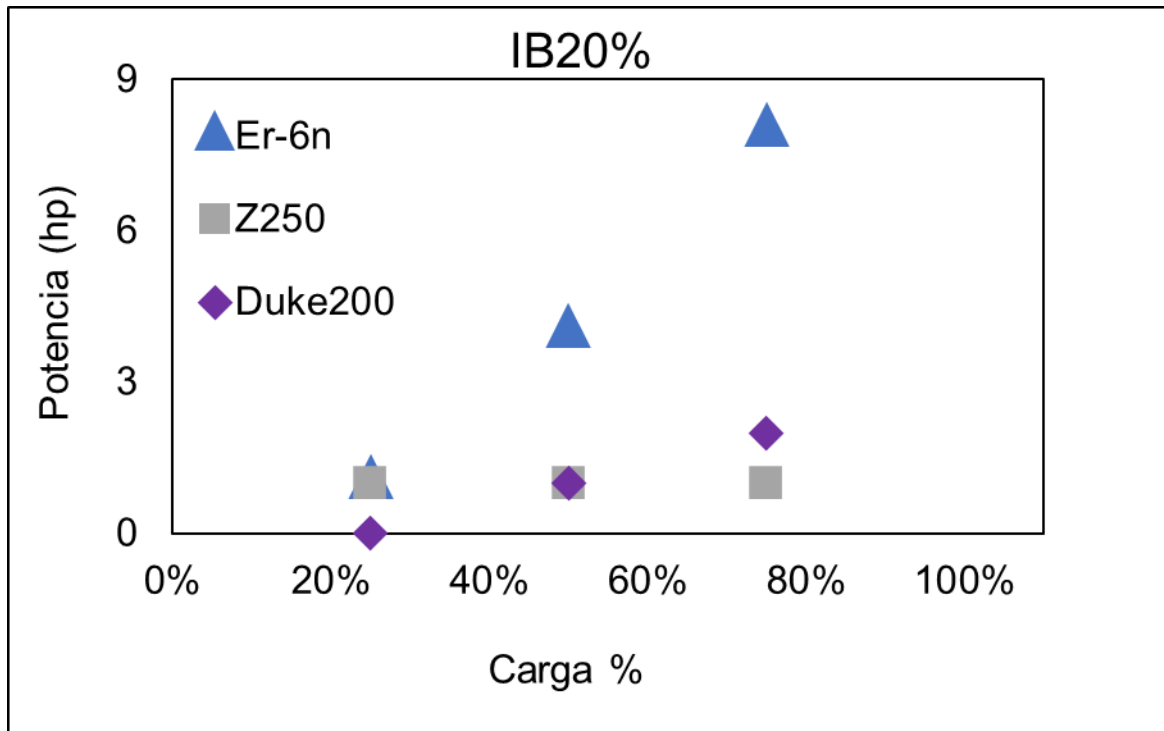
En la Figura 3-14 se muestra la potencia de las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 al utilizar una composición con 20 % de isobutanol (IB 20%), valorada en pruebas estacionarias en cargas distintas: 25 %, 50 % y 75 %. Los hallazgos obtenidos presentan el promedio en los que el motor tiene un funcionamiento constante.

Al examinar el desarrollo de la potencia, se visualiza que la ER-6n sostiene un aumento constante y bien definido, obteniendo 1 hp, 4 hp y 8 hp de acuerdo con el aumento de carga. Por otra parte, la Z250 conserva un rendimiento casi uniforme, con resultados de 1 hp en los tres niveles de carga. Mientras que la Duke 200 demuestra un aumento más gradual, iniciando desde 0 hp en la carga más baja, subiendo a 1 hp en la carga intermedia y así alcanzar 2 hp en la máxima carga.

Referente a los hallazgos, en la mezcla (IB 20%) mostró una diferencia frente a análisis pasados, las tres motocicletas trabajaron de manera constante en el trayecto indagado, no hubo variaciones significativas donde las desviaciones se igualaron a cero demostrando un comportamiento uniforme del motor. En este sentido, la ER-6n siempre entrega la máxima potencia, la Duke 200 aumenta su potencia proporcionalmente a la carga suministrada, entre tanto la Z250 conserva un funcionamiento condicionado y estable, sin aumentos importantes.

Esta condición mantiene que la mezcla con 20 % de isobutanol tiende a normalizar el desarrollo entre los motores examinados, disminuyendo la variación y conservando las diferencias dependiendo del rendimiento mecánico de cada motocicleta.

Figura 3-14 Análisis de la potencia con 20% de isobutanol



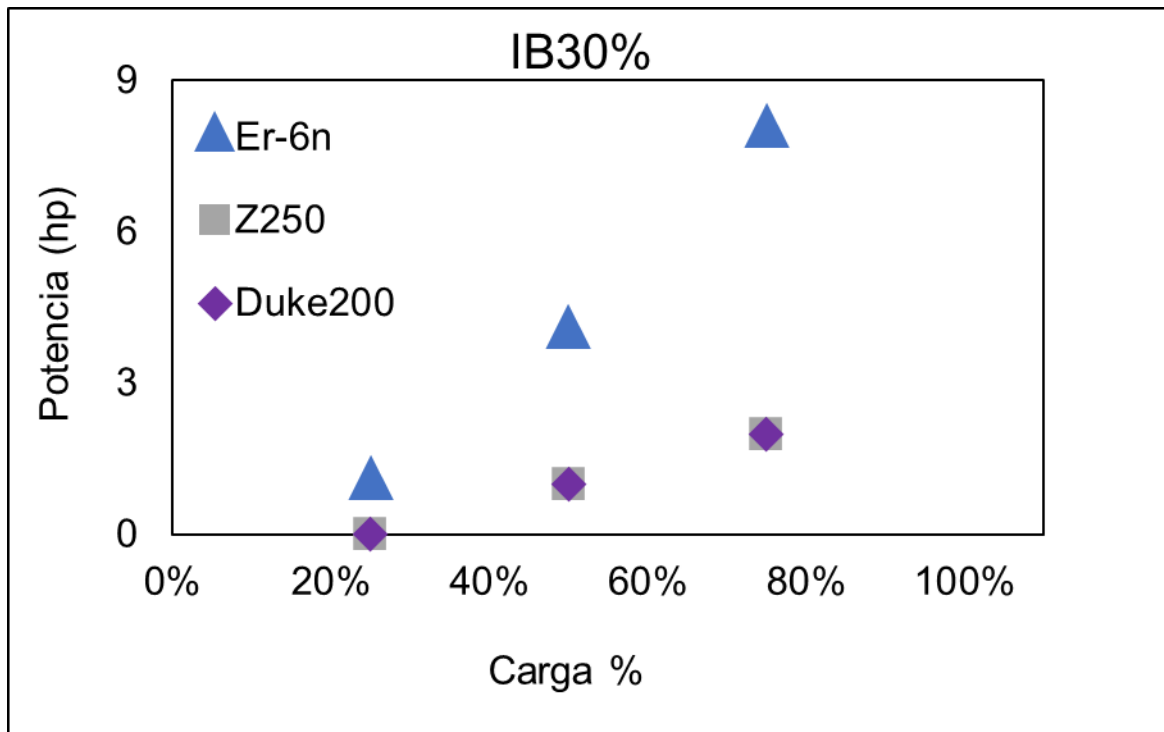
En la mezcla de isobutanol al 30% los puntos muestran cómo se comporta la potencia en las tres motocicletas analizadas bajo cargas del 25 %, 50 % y 75 % contrastados con los resultados del dinamómetro, Tal como lo establece la Figura 3-15.

En cuanto a la descripción de los hallazgos obtenidos, la ER-6n conserva un aumento continuo con valores de 1 hp, 4 hp y 8 hp en cada nivel de carga respectivamente. La Z250 demuestra un funcionamiento gradual, pasando por incrementos de 0 hp en el 25 %, a 1 hp en el 50 %, y obteniendo 2 hp en el 75 %, entre tanto la Duke 200 presenta un funcionamiento muy parecido al de la Z250, iniciando con 0 hp y aumentando hasta 2 hp en la carga máxima.

En la mezcla de (IB 30%), se puede evidenciar que no hay variaciones, con una desviación igual a cero en las tres motocicletas. Demostrando un comportamiento estable durante el tramo seleccionado. Las diferencias entre Z250 y Duke 200 disminuyen aún más, mostrando la misma respuesta en los 3 niveles de carga, asimismo la ER-6n conserva una potencia mayor, dado que la distancia de desempeño continua constante sin cambios inesperados ni fluctuaciones en la mezcla.

El funcionamiento observado en las tres motocicletas denota que el 30 % de isobutanol no representa variaciones bruscas en la entrega de potencia y mantiene un desarrollo estable entre los motores principalmente en motores de menor cilindrada.

Figura 3-15 Análisis de la potencia con 30% de isobutanol



3.3.1 Análisis de Torque para las distintas mezclas de gasolina con alcohol

En la Figura 3-16 se muestra el torque establecido por las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200, mediante la utilización de gasolina (IB 0 %), en los tres niveles de carga 25 %, 50 % y 75 %. Los valores presentados responden al promedio de los tramos donde el torque se conserva estable en el transcurso de la prueba.

De manera detallada, la ER-6n es la que obtiene los niveles más altos de torque en todo el rango de carga evaluado, alrededor de 8, 22 y 44,6 unidades en el 25 %, 50 % y 75 %, equitativamente. La Z250 está situado en una parte intermedia, en un incremento de 5 a 14 unidades, entre tanto, la Duke 200 inicia con valores de (3,76 en 25 %), pero se

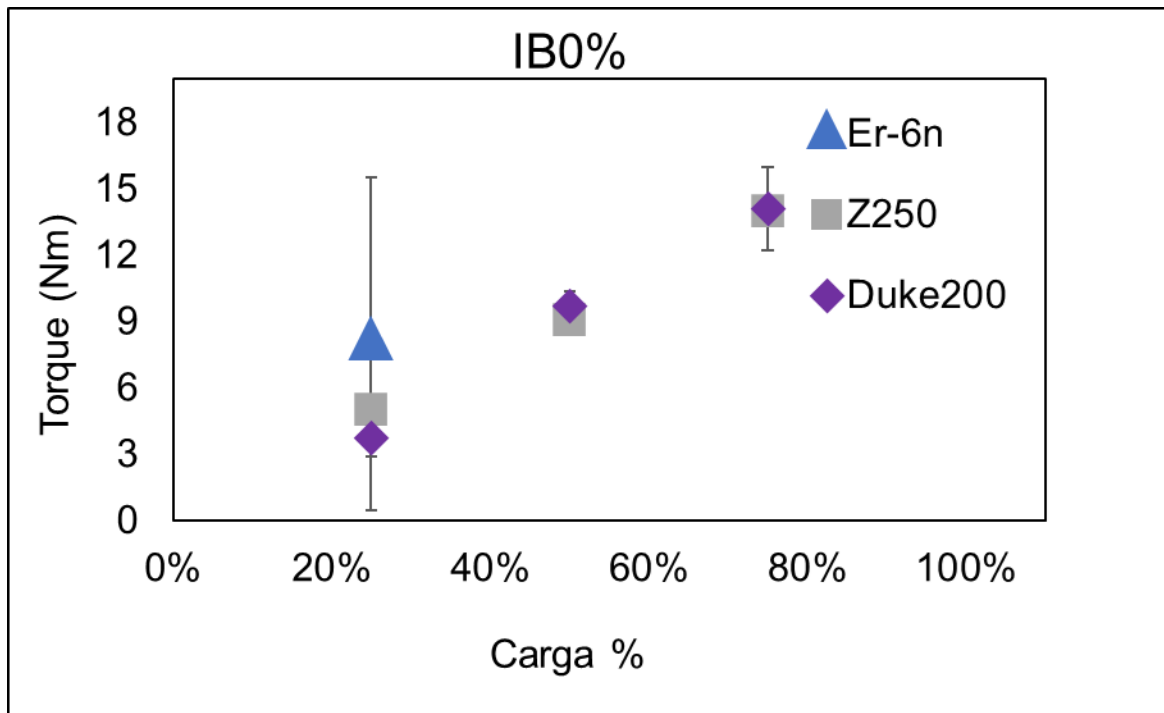
incrementa de esta manera acercándose a la Z250 en cargas medias y altas, alcanzando 9,7 y 14,1 respecto a los niveles de carga.

Analizando lo anterior se registró que el torque aumenta cuando la carga es mayor en las tres motocicletas, a pesar de que no todas lo ejecutan con la misma fuerza. La ER-6n presenta el crecimiento más fuerte, algo esperable debido a la capacidad de su motor y a su habilidad para proporcionar más fuerza y a mayor exigencia del motor. La Z250 presenta un aumento gradual y estable, sin variaciones entre cada nivel de carga, mientras que la Duke 200, comienza con un torque bajo en el 25 %, pero luego presenta un aumento considerable en el 50 % y 75 %, hasta lograr valores muy parecidos a los de la Z250 en los niveles de mayor exigencia.

En cuanto a la dispersión de datos se evidencia que es mayor en la ER-6n tal como lo muestran las barras de error, particularmente en el 25 % de carga, donde la desviación es de 7,53, lo que atribuye la presencia oscilaciones en el transcurso de la fase de estabilización. Por otro lado, la Z250 proporciona una respuesta mucho más estable, con desviaciones nulas en el 25 % y 75 % y un valor menor en el 50 %, mientras que la Duke 200 muestra cambios moderados, con desviaciones entre 0,83 y 1,86.

En síntesis, en el análisis de resultados permiten exhibir que, con gasolina pura, la ER-6n se destaca por su mayor generación de torque frente a las otras motocicletas, mientras que la Z250 y la Duke 200 Tienen un comportamiento similar en las cargas más altas, a pesar de que comienzan con valores diferentes en cargas bajas.

Figura 3-16 Torque promedio para mezcla (IB 0 %) en condiciones estacionarias



Dada la Figura 3-17 la cual presenta la conducta del torque para la mezcla con 10 % de isobutanol, en comparación de las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 de acuerdo con cargas del 25 %, 50 % y 75 %. Los valores presentados equivalen al promedio en el trayecto en el que el torque permaneció estable durante cada nivel de carga.

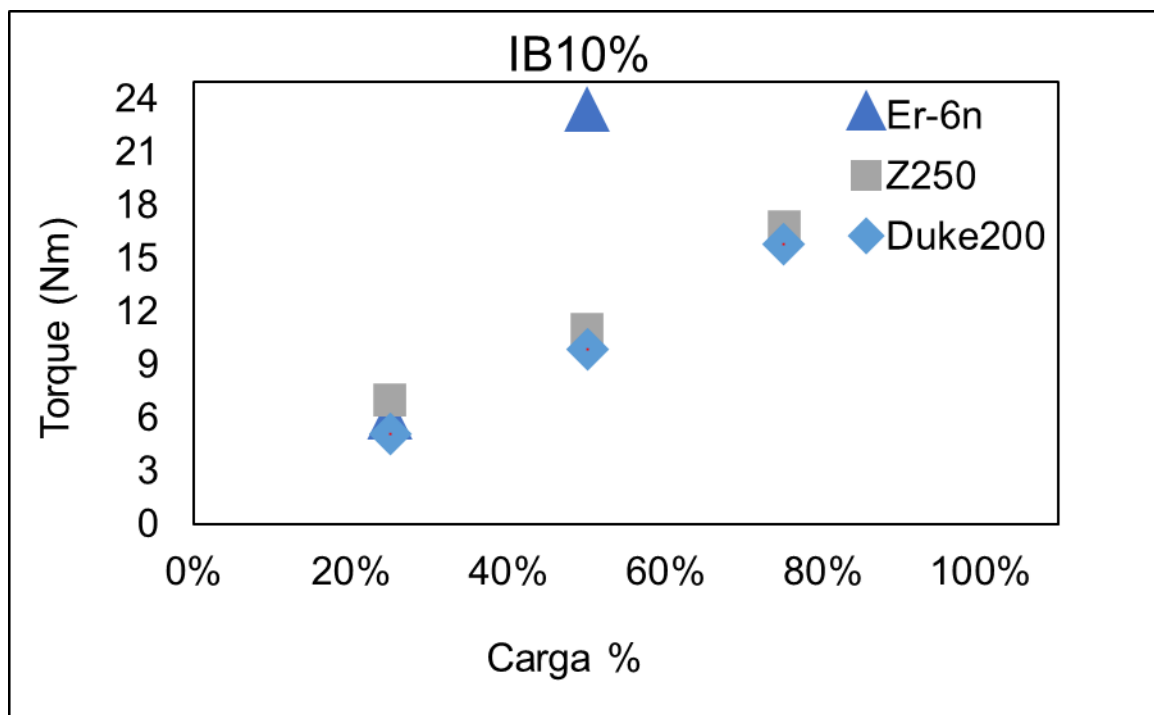
En el análisis de los resultados, se evidenció que la ER-6n sigue siendo la motocicleta con más capacidad para producir torque en cada uno de los niveles de carga, notando valores de 6, 23 y 46 unidades en el 25 %, 50 % y 75 %, proporcionalmente. La Z250 muestra un desarrollo intermedio, pasando de 7 a 17, mientras que la Duke 200 presenta una respuesta levemente inferior, principalmente al inicio de la carga, donde alcanza 5, pese a que después aumenta gradualmente hasta 16 en el 75 %.

A diferencia de lo presentado con gasolina pura, en esta mezcla con 10 % de isobutanol se establece que la divergencia entre la Z250 y la Duke 200 se disminuye aún más, fundamentalmente en cargas medias y altas, en donde ambas motocicletas ofrecen valores similares, contrario a la ER-6n que sigue con un aumento mucho más acentuado, presentando una respuesta marcada a la carga impuesta por el dinamómetro.

Las diferencias en los datos pueden validar la estabilidad de cada motocicleta durante el transcurso de la medición. En la EgR-6n, los mayores cambios aparecen en el 25 % (1,26), a pesar de que en el 50 % se reduce cuantiosamente en (0,25) y es nula al 75 %. La Z250 muestra una actitud constante, con desviaciones iguales a cero en el 25 % y 50 %, también representa un leve aumento en el 75 % (0,41). Para la Duke 200, la dispersión es mesurada en el 25 % y 50 % (entre 0,44 y 0,53) y nuevamente se reduce en el 75 %.

Conjuntamente, los hallazgos del torque para la mezcla IBU10 % muestran que el isobutanol en esta cantidad no cambia la relación de funcionamiento entre las motocicletas: la ER-6n sigue ofreciendo un mayor torque, pese a que la Z250 y la Duke 200 proporcionan respuestas parecidas y más graduadas. No obstante, se validó que todas muestran una reducción de variabilidad en altas cargas, observando una conducta estable acorde con el aumento de la exigencia del dinamómetro.

Figura 3-17 Torque promedio para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias



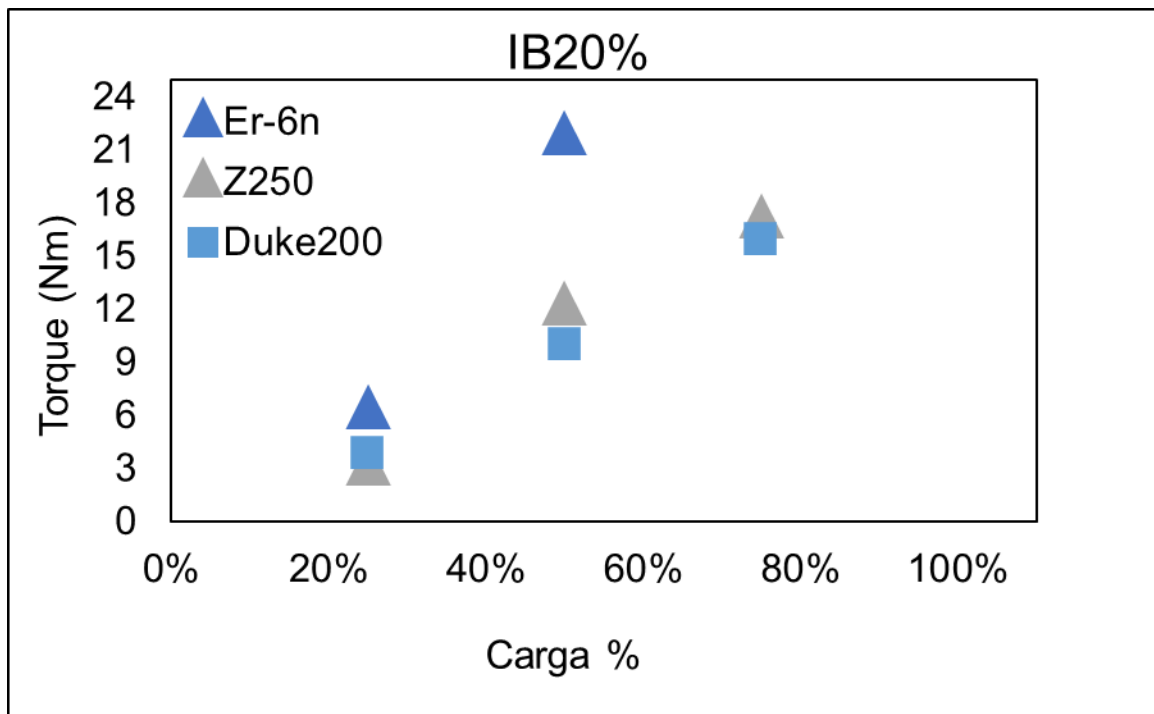
La Figura 3-18 representa el torque ocasionado con la mezcla de 20% de isobutanol (IB20%) por las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200, validado mediante tres niveles de carga (25%, 50% y 75%). Los valores obtenidos equivalentes al promedio obtenido durante los periodos estables de las pruebas estacionarias.

En general, en esta mezcla sigue la tendencia observada en periodos anteriores, pero con divergencias mayormente notorias entre las tres motocicletas. La ER-6n sigue generando el mayor torque en todas las cargas, registrando 4,83, 21,08 y 45 unidades en el 25 %, 50 % y 75 %, correspondientemente. La Z250 muestra un aumento gradual más mesurado de (de 6 a 11,05) y la Duke 200 demuestra un comportamiento parecido, iniciando en 3 y llegando hasta 14,83 en la carga más alta.

A diferencia de lo evidenciado en la mezcla al 10 %, donde la Duke 200 y la Z250 presentaban valores similares, en la mezcla al 20 % la Z250 logra sostener un torque levemente superior a la Duke 200 en todas las cargas, principalmente en el 25 %, donde la brecha es más marcada. Pese a ello, ambas motocicletas se conservan alejadas del comportamiento de la ER-6n, cuyo aumento de torque es mayor conforme se eleva la carga aplicada por el dinamómetro.

Por otro lado, las tres motocicletas presentan un comportamiento constante pese a que cada una evidencia un patrón diferente. En la ER-6n, la mayor variación se evidencia al 25 % (0,408), disminuyéndose al 50 % (0,289) y pero se vuelve perfectamente estable en la zona de mayor carga al 75 %. En este sentido, en La Z250 presenta un rendimiento cabalmente uniforme al 25% de carga, sin ninguna desviación (0,00). Al elevar la carga al 50% y 75%, evidencia una mínima variación en sus hallazgos, que en ambos casos es igual y baja (0,229). En la Duke 200 se muestra una leve dispersión en el 50 % (0,333) y un aumento moderado en el 75 % (0,379), pese a que sigue dentro de rangos bajos.

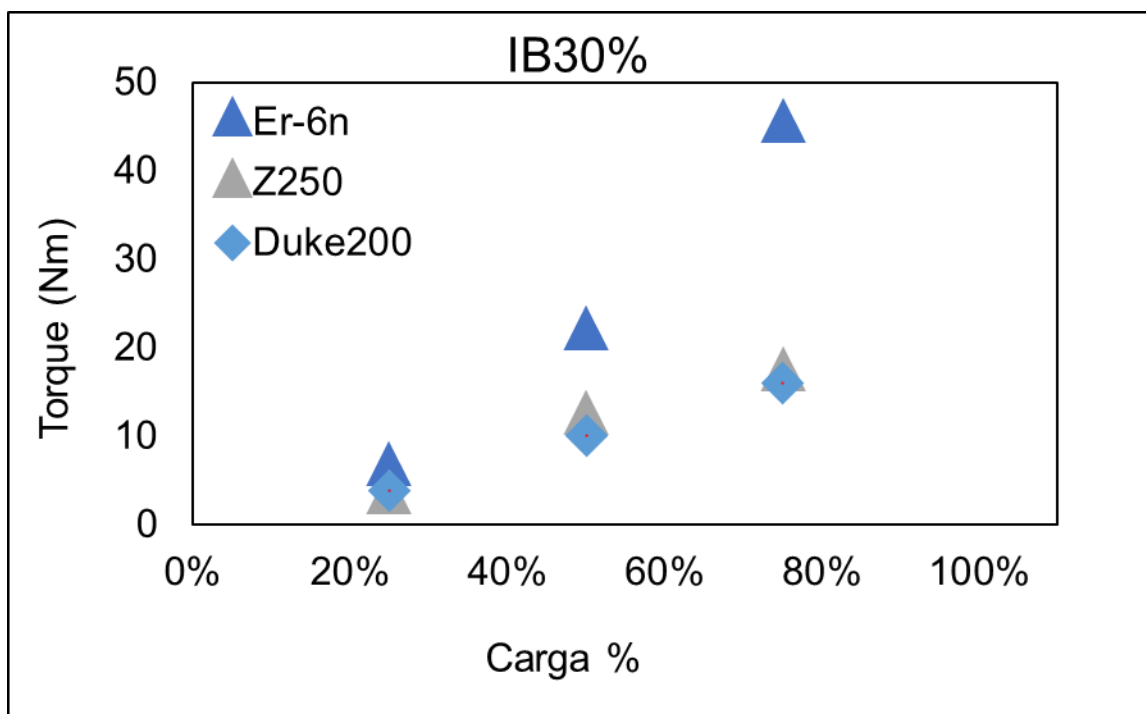
Figura 3-18. Torque promedio para mezcla IBU20 % en condiciones estacionarias



En la Figura 3-19 se muestra el funcionamiento del torque para la mezcla compuesta por 30 % de isobutanol, evaluado en las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 bajo los niveles de carga del 25 %, 50 % y 75 %. Los valores promediados se obtuvieron manejando los datos del trayecto en los que el torque se mantuvo estable. Por otra parte, en esta mezcla, la ER-6n sigue evidenciando el mayor torque registrando 6,17, 21,63 y 45,06 unidades en el 25 %, 50 % y 75 %, consecuentemente. Este procedimiento evidencia su predominio mecánico y su rendimiento incrementando la carga frente a las otras motocicletas.

Por otro lado, la Z250 evidencia un progreso más medido, comienza con 3 unidades al 25 %, y va en aumento de 12 en el 50 % y termina con 16,94 en la carga alta. La Duke 200, entre tanto, se sitúa levemente por arriba de la Z250 en cargas reducidas, con 3,89 unidades al 25 %, pese a ello en el 50 % ambas continúan próximas (10 en la Duke y 12 en la Z250). En el 75 %, sus resultados coinciden, con 16 en la Duke y 16,94 en la Z250. Las variaciones registradas son imperceptibles, lo que afirma que la utilidad de isobutanol como combustible no influye en la estabilidad del comportamiento del motor.

Figura 3-19. Torque promedio para mezcla IB30 % en condiciones estacionarias



3.3.2 Análisis de HC con mezclas de isobutanol con gasolina

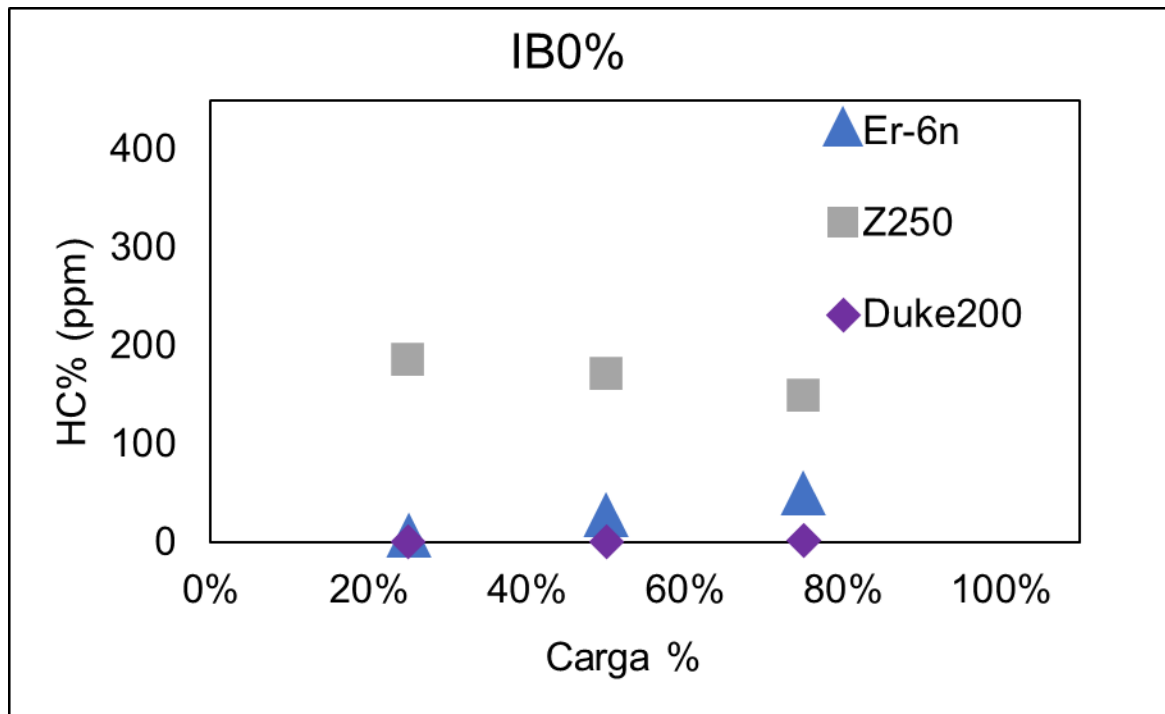
La Figura 3-20 evidencia la actuación de los hidrocarburos (HC) en partes por millón para la mezcla IB 0% utilizando (100% gasolina), comparado con el rendimiento de las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke 200 en la resistencia de carga del dinamómetro del 25%, 50% y 75%, en condiciones estacionarias.

En tal sentido, la Z250 evidencia las emisiones más altas en los tres niveles valorados, con un máximo de 186 ppm al 25% de carga y disminuyendo progresivamente hasta 148 ppm al 75%. No obstante, la Duke 200 registra las emisiones mínimas, manteniéndose entre 0,05 y 1,92 ppm, entre tanto, la Er-6n muestra valores intermedios que se elevan paulatinamente con la carga.

La Z250 muestra la mayor emisión de hidrocarburos (HC) entre las motocicletas evaluadas, con valores que van de aproximadamente 186 ppm en el 25 % de carga a 148 ppm en el 75 %. Además, presenta la mayor variación en este parámetro, especialmente a baja carga ($\pm 9,64$ ppm). Por otro lado, la Duke 200 y la ER-6n presentan emisiones significativamente bajas. Estos hallazgos evidencian que, al utilizar gasolina pura, la Z250 libera más HC no

quemados, probablemente por regulación de inyección o por las condiciones determinadas durante el trayecto.

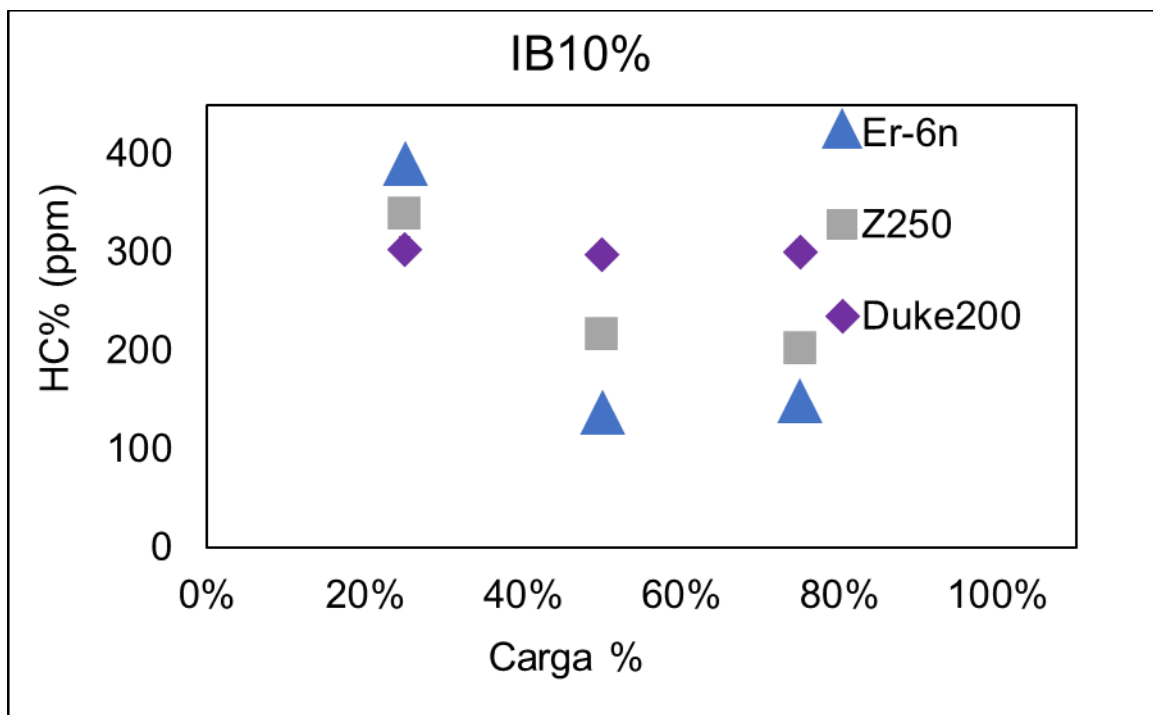
Figura 3-20. Hidrocarburos medidos en % para mezcla IB 0 % en condiciones estacionarias



La Figura 3-21 indica las emisiones de HC para la mezcla con 10% de isobutanol. En este sentido, los valores continúan siendo máximos en la Er-6n en el inicio de la prueba (384 ppm al 25%), entre tanto que la Z250 y la Duke 200 representan valores medidos en (339 ppm y 303 ppm) respectivamente. Dado a que se incrementa la carga, los tres modelos tienen una tendencia a disminuir sus niveles de HC, particularmente la Z250, que cae a 202 ppm en el 75% de carga.

Las desviaciones muestran una variación correspondiente mayor en el 25% para las tres motocicletas, fundamentalmente en la Duke 200 aproximadamente (11,94 ppm), lo que evidencia que la fase inicial aún incluye ciertas transformaciones antes de la estabilización. Este comportamiento muestra que la mezcla al 10% de isobutanol disminuye proporcionalmente las emisiones comparado con la gasolina pura, asimismo una tendencia a equilibrar mejor los resultados en cargas medias y altas.

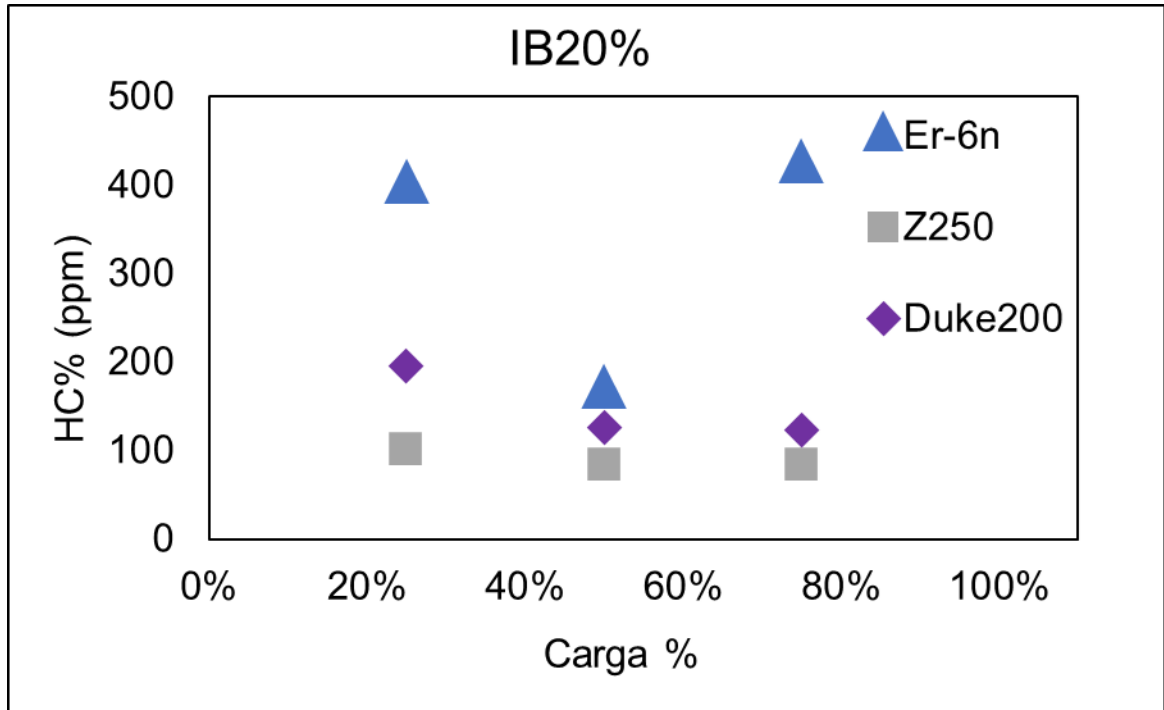
Figura 3-21. Hidrocarburos medidos en % para mezcla IB10 % en condiciones estacionarias



En la Figura 3-22 se muestra los resultados de los valores de HC para una mezcla al 20% de isobutanol. Se evidenció que la Er-6n aun presenta los mayores valores al 25% de carga (397 ppm) igualmente al 75% (421 ppm), asimismo que la Z250 reconoce los niveles más reducidos de las motocicletas, presenta estabilización en valores aproximados de 84–101 ppm en todas las cargas valoradas. La Duke 200 tiene valores intermedios en el rendimiento de las motocicletas, revelando valores medidos en el rango de 123 a 195 ppm.

Las variaciones son notablemente menores en esta mezcla, principalmente para la Z250, que considera valores aproximados en 0,22 ppm tanto al 50% como al 75% de carga, mostrando una óptima estabilidad en el ciclo. Este rendimiento exhibe que el 20% de isobutanol genera una combustión más eficiente en motores de mediana y baja cilindrada, minimizando la variación de los resultados y perfeccionando la uniformidad de las emisiones.

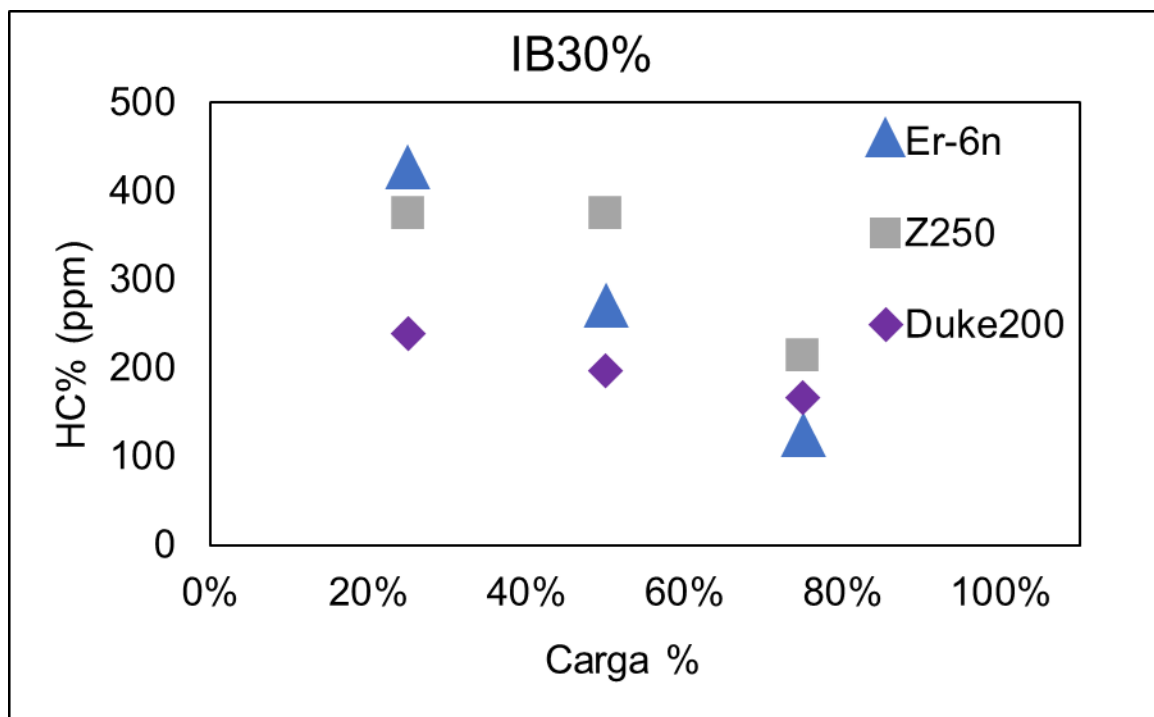
Figura 3-22 Hidrocarburos medidos en % para mezcla (IB 20 %) en condiciones estacionarias



La Figura 3-23 muestra los resultados de HC obtenidos con la mezcla al 30% de isobutanol, en esta prueba, la Er-6n sigue presentando los valores máximos en carga reducida (421 ppm), aunque baja marcadamente sus emisiones en el 75% (117 ppm). Por el contrario, la Z250 sostiene un rendimiento semejante al observado en el 20%, con valores que fluctúan entre 214 y 374 ppm, entre tanto la Duke 200 aún sigue en un rango intermedio (167–239 ppm).

En procesos de estabilidad, las desviaciones presentan que las tres motocicletas optiman su firmeza respecto a las mezclas anteriores. La Er-6n sigue mostrando un comportamiento más regular, con variaciones aproximadas entre 10,8 y 4,0 ppm, mientras que la Duke 200 demuestra la menor variabilidad, lo que revela un comportamiento estacionario bien estructurado durante la prueba. En general se concluye que la mezcla con 30% de isobutanol favorece la disminución de hidrocarburos sin quemar en máximas cargas y genera un mayor equilibrio en la combustión.

Figura 3-23. Hidrocarburos medidos en % para mezcla (IB 30 %) en condiciones estacionarias



3.3.3 Análisis de CO₂ con mezclas de isobutanol con gasolina

En la Figura 3-24 se evidencia que las emisiones promedio de dióxido de carbono (CO₂) mencionadas en promedio para la mezcla IB 0 % (100 % gasolina) en las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200, valoradas bajo cargas estacionarias del 25 %, 50 % y 75 %. Los valores corresponden al promedio de los trayectos estables medidos por el analizador de gases, también con su variación asociada.

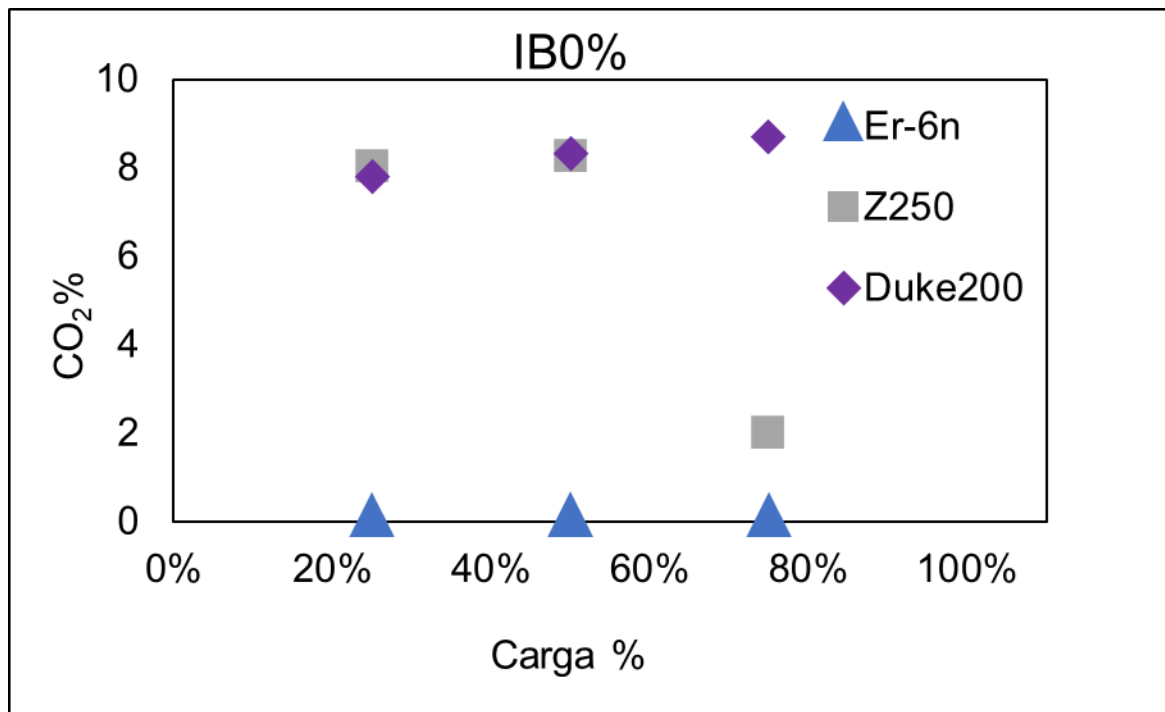
El rendimiento general presenta divergencias importantes entre la ER-6n y las dos motocicletas de menor cilindrada, principalmente en las cargas bajas y medias. En el 25 % de carga, por su parte, la ER-6n presenta una emisión promedio de 0,03 %, una cifra muy inferior frente a la Z250, que alcanza 8,03 %, y la Duke 200, con 7,80 %. Esta propensión sostiene en el 50 % de carga, donde la ER-6n muestra 0,0197 %, entre tanto que la Z250 y la Duke registran valores muy próximos entre sí (8,27 % y 8,31 %, proporcionalmente).

Respecto a la máxima carga, registrada al 75 %, la ER-6n mantiene nuevamente la emisión más baja con 0,0247 %, mientras que la Z250 es menor en 2 %, y la Duke 200 aumenta gradualmente hasta 8,71 %. Esto confirma que la Z250 presenta un rendimiento descendente con el incremento de carga, entre tanto la Duke 200 sostiene una tendencia constante, con leves incrementos en cargas máximas.

En complemento, la mezcla (IB 0 %) registra que la ER-6n produce menos emisiones de CO₂ en distintos niveles de carga, lo cual se constata en una mayor eficiencia volumétrica ya que el motor de mayor cilindrada opera en un condición de carga bajo en comparación a su potencial general. Por su parte, la Duke 200 y la Z250 muestran valores más elevados y cercanos entre sí en cargas bajas y medias, difiere únicamente en la carga del 75 %, donde la Z250 disminuye notablemente sus emisiones mientras que la Duke 200 sostiene registros máximos.

Esta actitud comprende la base de comparación para validar la evolución de las emisiones de CO₂ en las mezclas con mayores porcentajes de isobutanol.

Figura 3-24. CO₂ medido en % para mezcla (IB 0 %) en condiciones estacionarias



En la Figura 3-25 (IB 10%) se muestra el comportamiento del dióxido de carbono (% CO₂) para los tres modelos evaluados (Er-6n, Z250 y Duke200) en condiciones estacionarias con una mezcla del 10% de isobutanol. Los valores son equivalentes al promedio de los trayectos estables registrados en las cargas del dinamómetro (25%, 50% y 75%), cortados con su concerniente desviación estándar.

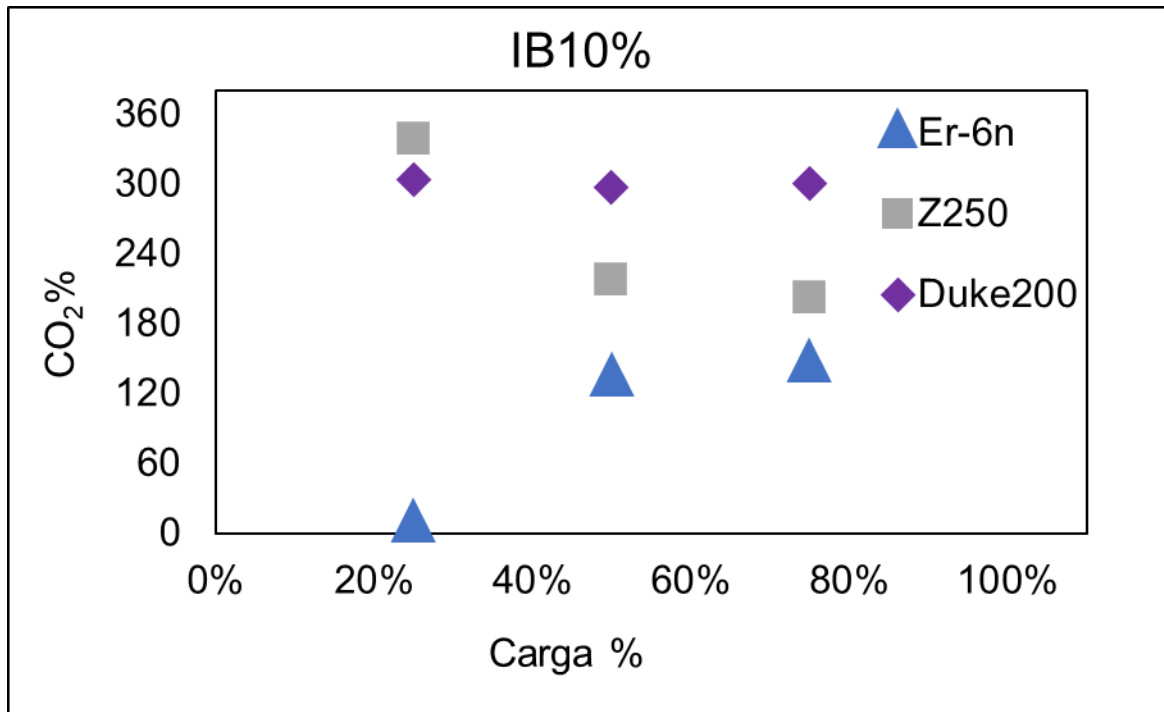
La motocicleta Er-6n en el 25% de carga, muestra el menor valor promedio de CO₂ en el (6%), por otra parte, la Z250 y la Duke 200 generan resultados gradualmente superiores (339% y 303% proporcionalmente). Pese a ello, estas motocicletas muestran emisiones mayores, la desviación estándar es mínima en ambos casos, lo que evidencia que los resultados registrados fueron constantes.

En tal sentido, la Er-6n en un 50% de carga, muestra un aumento considerable en su valor promedio de CO₂ hasta 132%, obteniendo también una desviación estándar mucho mayor (0,3677), lo cual es considerable de acuerdo con la variabilidad en las emisiones durante el registro evaluado. Mientras que, la Z250 y la Duke200 evidencian emisiones muy altas en (217% y 297% equitativamente), pese a desviaciones menores, revelando mayor persistencia en esos niveles de carga.

Por otra parte, en el 75% de carga, la tendencia continúa: la Er-6n persiste con el valor de CO₂ más bajo entre todas motocicletas (143%), en tanto que la Z250 y la Duke 200 registran porcentajes superiores (202% y 301%), las desviaciones estándar siguen evidenciando que la Er-6n mantiene mayor variabilidad en comparado con las dos motocicletas, cuyos registros permanecen comparativamente estables.

En conjunto, estos hallazgos demuestran que la mezcla del 10% de isobutanol perjudica de manera distinta a cada motocicleta. La Er-6n revela los menores valores de emisión de CO₂ en todas las cargas, aunque con incremento en la fluctuación interna, del mismo modo, la Z250 y la Duke200 muestran emisiones máximas, y registros de funcionamiento más estable, reconociendo que el rendimiento de la combustión y el funcionamiento del motor influenciado por las características de cada modelo abordado, como su cilindrada, el sistema de inyección y la relación aire-combustible con la que trabaja.

Figura 3-25 CO₂ medido en % para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias



En la Figura 3-26 (IB 20%) se presentan los valores promedio de CO₂ (%) obtenidos para las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke200 durante las pruebas estacionarias con una mezcla de 20% de isobutanol. Los resultados corresponden a los segmentos estables del ensayo bajo cargas del dinamómetro equivalentes al 25%, 50% y 75%.

En el 25% de carga, se observa que las tres motocicletas presentan valores de CO₂ relativamente cercanos entre sí: la Er-6n registra 5,8%, la Z250 5,97% y la Duke200 7,02%. Aunque las cifras son similares, la Duke200 presenta el valor más alto, mientras que la desviación estándar muestra una variabilidad moderada en su señal (0,1873). En contraste, la Z250 y la Er-6n mantienen desviaciones pequeñas, lo que indica estabilidad en las emisiones a baja carga.

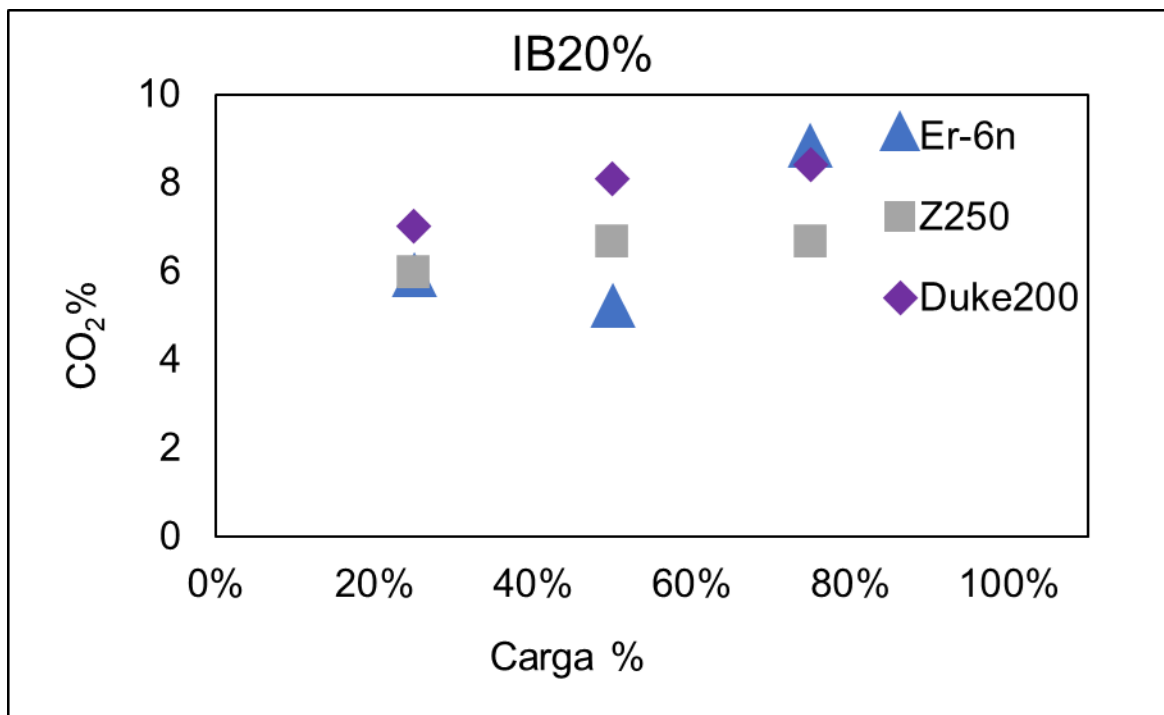
Al aumentar al 50% de carga, la respuesta entre motocicletas se diferencia con mayor claridad. La Er-6n mantiene un valor medio de 5,11%, el más bajo del grupo, mientras que la Z250 se sitúa en 6,67% y la Duke200 en 8,09%. En esta condición, la Duke200 muestra nuevamente la media más elevada de CO₂, pero con una desviación estándar reducida (0,0469), lo que indica un comportamiento estable a esta carga. La Er-6n presenta la mayor

variabilidad relativa (0,1913), lo que refleja fluctuaciones en la combustión o en la mezcla aire-combustible bajo esta condición de trabajo.

Para el 75% de carga, la Er-6n incrementa sus emisiones hasta 8,72%, acercándose a los valores reportados por la Duke200 (8,41%). Por su parte, la Z250 conserva un valor constante de 6,67%, mostrando la menor tendencia al aumento con el incremento de carga. Las desviaciones más bajas corresponden a la Z250 (0,0759), lo cual evidencia un funcionamiento muy uniforme del motor en altas cargas. Las variaciones registradas en la Er-6n (0,4172) indican un comportamiento menos estable que en las otras motocicletas al trabajar en regímenes exigentes.

Esto indica que el 20% de isobutanol no afecta de manera uniforme a todas las motocicletas: cada motor responde de forma particular según su configuración, estrategia de inyección y eficiencia de combustión, observándose comportamientos divergentes en cargas altas.

Figura 3-26. CO₂ medido en % para mezcla IB 20 % en condiciones estacionarias



En la Figura 3-27 (IB 30%) se observa el comportamiento del dióxido de carbono emitido por las tres motocicletas evaluadas bajo mezcla del 30% de isobutanol. Los valores corresponden a los promedios obtenidos en los tramos estables del ensayo estacionario en las cargas del 25%, 50% y 75%, acompañados de su desviación estándar para interpretar la estabilidad del registro.

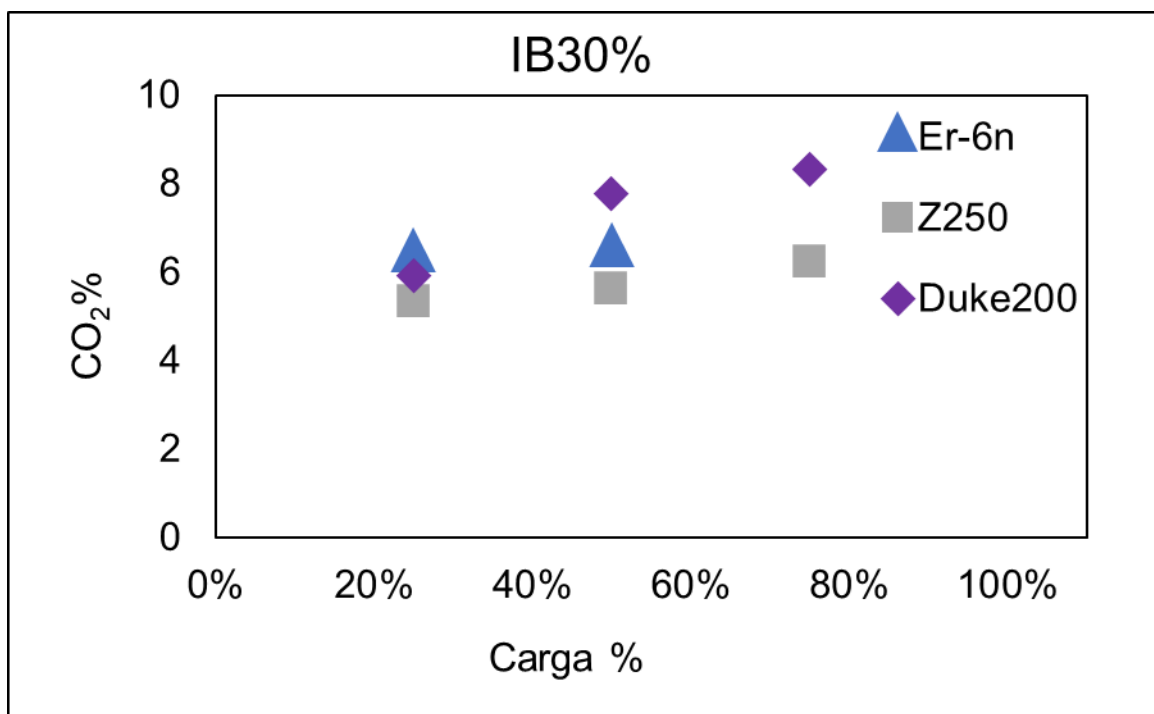
En el 25% de carga, las tres motocicletas presentan valores cercanos: la Er-6n muestra 6,37%, la Z250 alcanza 5,36% y la Duke200 se ubica en 5,91%. Aunque los niveles son similares, la Duke200 registra la desviación más alta (0,4390), señalando una mayor variabilidad en este rango, mientras que la Z250 y la Er-6n mantienen un comportamiento más estable.

Para el 50% de carga, se evidencia una ligera separación entre los resultados. La Er-6n alcanza 6,48%, la Z250 registra 5,64% y la Duke200 aumenta hasta 7,79%, siendo esta última la que presenta el valor más alto de CO₂ en esta condición. Sin embargo, las desviaciones estándar se reducen significativamente para las tres motocicletas, lo que indica un funcionamiento muy uniforme durante este tramo del ensayo.

A un 75% de carga, el efecto del incremento de mezcla de isobutanol se intensifica de manera diferenciada. La Er-6n eleva sus emisiones hasta 10,09%, convirtiéndose en la motocicleta con mayor producción de CO₂ en carga alta para esta mezcla. Le sigue la Duke200 con 8,32%, mientras que la Z250 registra el valor más bajo (6,26%). En cuanto a la estabilidad del registro, la Z250 presenta desviación nula en este punto, sugiriendo una combustión muy consistente en condiciones exigentes, mientras que la Er-6n y la Duke200 mantienen fluctuaciones mínimas.

Estos resultados evidencian que el aumento al 30% de isobutanol no produce un comportamiento homogéneo entre motocicletas, ya que cada motor responde según su propia arquitectura, mapeo de inyección y eficiencia de combustión, modificando la formación de CO₂ de manera particular.

Figura 3-27. CO₂ medido en % para mezcla (IB 30 %) en condiciones estacionarias



3.3.4 análisis de CO con mezclas de isobutanol con gasolina

En la 3-28 (IB 0%) se presenta el comportamiento del monóxido de carbono (%CO) para las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke200 bajo pruebas estacionarias sin adición de isobutanol (100% gasolina). Los valores analizados corresponden a los promedios obtenidos en las zonas estables del ensayo en condiciones de carga del 25%, 50% y 75%, incluyendo su desviación estándar para valorar la estabilidad de los datos.

En el 25% de carga, las emisiones de CO se mantienen en niveles bajos para las tres motocicletas. La Er-6n presenta un promedio de 0,1025%, la Z250 registra 0,1095% y la Duke200 muestra el valor más bajo (0,0588%). Las desviaciones estándar son reducidas para las tres máquinas, especialmente para la Er-6n (0,005), lo que indica un comportamiento estable en bajas cargas y una combustión relativamente uniforme.

Cuando la carga aumenta al 50%, se observa una respuesta muy distinta entre motocicletas. La Er-6n eleva sus emisiones hasta 0,315%, reflejando también una mayor variabilidad (desviación de 0,1447), lo que sugiere oscilaciones en la mezcla aire-combustible o cambios en la eficiencia de combustión bajo esta condición. La Z250, por su parte, reduce sus niveles a 0,069%, con desviación mínima, mientras que la Duke200

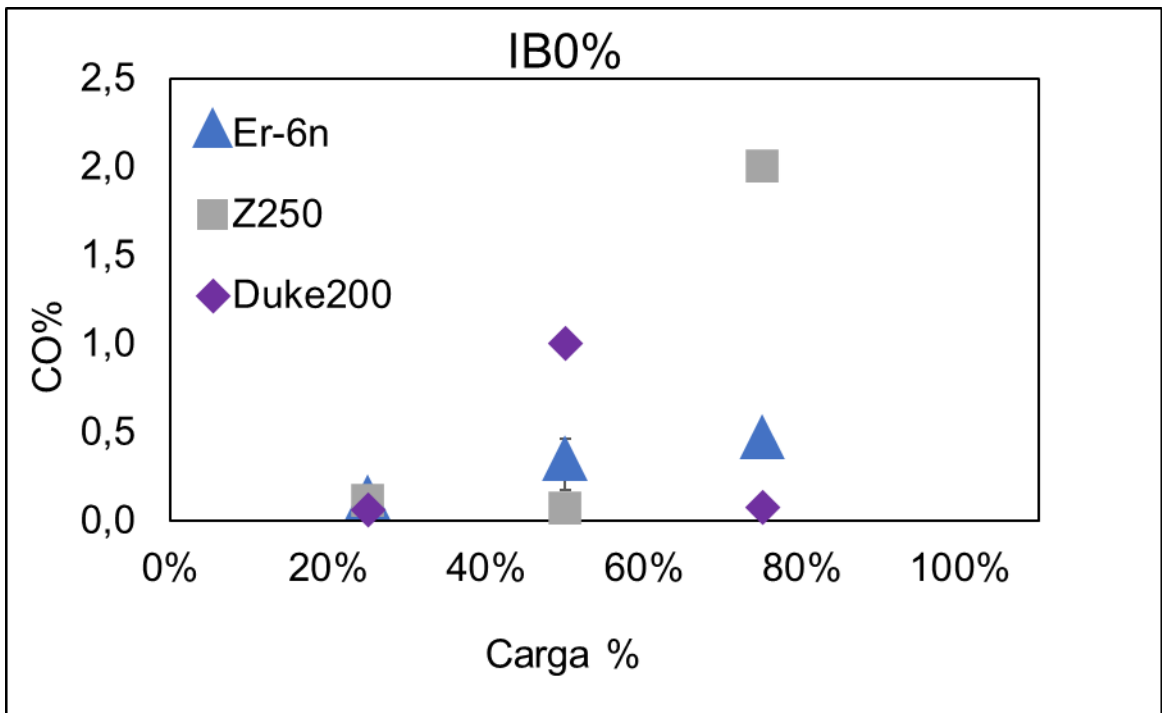
registra un incremento marcado hasta 1%, siendo esta la motocicleta con mayor producción de CO en este punto del ensayo.

En el 75% de carga, los patrones vuelven a modificarse. La Er-6n sube a 0,444%, mostrando valores moderados con una desviación estándar baja (0,0242). La Z250 presenta un comportamiento atípico con un valor de 2%, muy superior a los niveles observados en las otras motocicletas, aunque con una variabilidad reducida. Este comportamiento podría relacionarse con enriquecimientos transitorios o desfases en el sistema de inyección a cargas altas. La Duke200 retorna a un valor bajo (0,0756%), lo que evidencia que su tendencia de aumento en el 50% no se mantiene en el 75%.

La Duke200 presenta la variación más marcada entre cargas, con un pico pronunciado en el 50%, seguido de una reducción en el 75%, lo que podría asociarse con ajustes del motor o estrategias propias de inyección.

En general, con gasolina pura se evidencia que cada motocicleta responde de forma particular a la carga del dinamómetro, mostrando distintos niveles de sensibilidad en la formación de CO debido a diferencias en cilindrada, calibración de inyección y eficiencia del proceso de combustión.

Figura 3-28. CO promedio para mezcla IB 0 % en condiciones estacionarias



En la 3-29 (IB10%) se observa el comportamiento del monóxido de carbono para las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke200 bajo pruebas estacionarias con una mezcla que contiene un 10% de isobutanol. Los valores corresponden a los promedios obtenidos en los intervalos estables de cada carga (25%, 50% y 75%), junto con su desviación estándar.

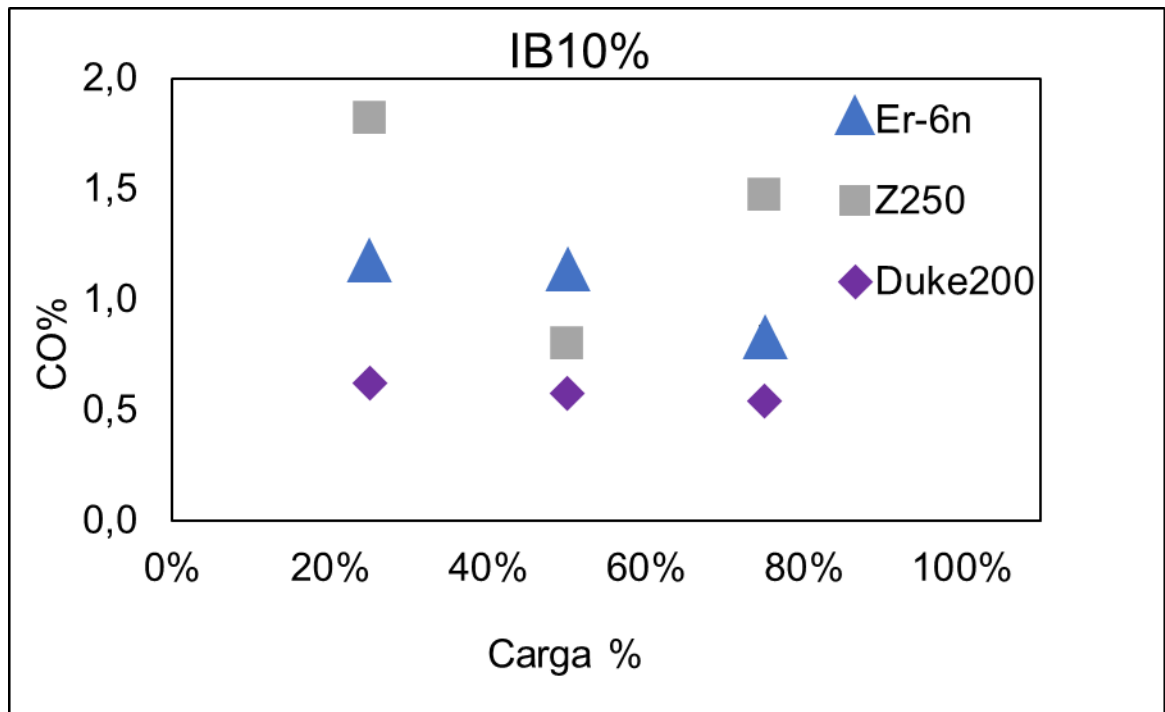
En el 25% de carga, las tres motocicletas presentan niveles moderados y bastante uniformes de CO. La Er-6n y la Duke200 registran un valor de 1%, mientras que la Z250 es ligeramente superior con 2%. La desviación en este punto es reducida para las tres máquinas, destacando la estabilidad de la Er-6n que no presenta variación (0), mientras que la Z250 y la Duke200 muestran pequeñas fluctuaciones, propias del ajuste del sistema de mezcla en bajas cargas.

Con el aumento al 50% de carga, las emisiones convergen hacia valores similares entre motocicletas, todas cercanas al 1%. Sin embargo, la ligera variabilidad encontrada muestra comportamientos distintos: la Er-6n incrementa su desviación hasta 0,0689, la Z250 presenta un valor de 0,0379 y la Duke200 disminuye su variabilidad (0,0214). Esto indica que, aunque las tres mantienen prácticamente el mismo nivel de emisión, la estabilidad del proceso de combustión difiere ligeramente entre ellas, especialmente en la Er-6n, que evidencia ajustes más dinámicos bajo esta carga.

En el 75% de carga, la uniformidad vuelve a ser dominante: las tres motocicletas registran valores promedio de 1% de CO. La estabilidad mejora en general, con desviaciones de 0,0735 (Er-6n), 0,0327 (Z250) y 0,0089 (Duke200). La Duke200 es la que muestra un comportamiento más controlado en esta condición, mientras que la Er-6n evidencia nuevamente la mayor oscilación.

En conjunto, la mezcla con 10% de isobutanol genera un efecto de homogenización en las emisiones de CO entre las tres motocicletas, especialmente bajo cargas medias y altas. A diferencia del comportamiento observado con gasolina pura, aquí no se presentan picos pronunciados ni diferencias marcadas entre las máquinas, lo que sugiere una combustión más estable y una mezcla aire-combustible más eficiente debido a la presencia del isobutanol, que favorece una oxidación más completa del combustible.

Figura 3-29. CO promedio para mezcla IB 10 % en condiciones estacionarias



En la 3-30 (IB 20%) se presenta el comportamiento del monóxido de carbono (CO) generado por las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke200 durante las pruebas estacionarias

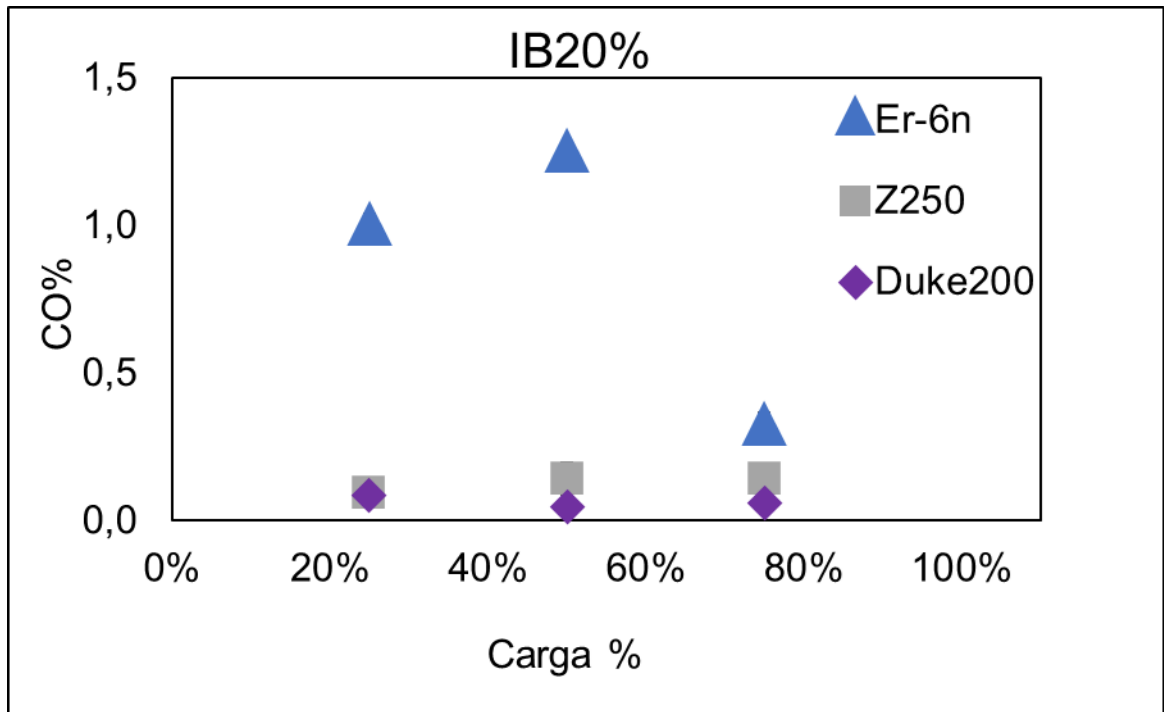
con una mezcla que contiene 20% de isobutanol. Los valores corresponden a los promedios obtenidos en los intervalos estables de cada carga (25%, 50% y 75%), junto con la desviación estándar de cada conjunto de datos.

En el 25% de carga, se evidencia una diferencia marcada entre la Er-6n y las otras dos motocicletas. La Er-6n registra el valor más alto con 0,988%, mientras que la Z250 y la Duke200 presentan niveles considerablemente menores, de 0,095% y 0,087% respectivamente. Las desviaciones asociadas son bajas para las tres motocicletas, destacándose la Duke200 con la menor variabilidad (0,0075), lo que indica un comportamiento más estable del sistema de combustión en esta condición de baja carga.

Cuando la carga aumenta al 50%, se observa un incremento notable en las emisiones de CO de la Er-6n, que llega a 1,235%, manteniéndose como la motocicleta con mayor aporte de monóxido. Por el contrario, la Z250 y la Duke200 presentan valores reducidos de 0,142% y 0,045% respectivamente. Las desviaciones en este punto muestran una ligera mayor variación en la Z250 (0,0528), mientras que la Duke200 conserva un comportamiento estable con la desviación más baja (0,0077). Esto sugiere que el incremento de carga afecta de manera más significativa a la combustión en la Er-6n y, en menor medida, en la Z250, mientras que la Duke200 mantiene un proceso más controlado.

En el 75% de carga, las emisiones descienden en la Er-6n hasta 0,312%, lo cual contrasta con el valor elevado registrado en el 50%. La Z250, por su parte, mantiene un comportamiento constante con 0,142%, y la Duke200 muestra el valor más bajo con 0,060%. Las desviaciones nuevamente son reducidas, indicando estabilidad general del sistema en altas cargas, destacándose la Duke200 como la motocicleta con la menor variabilidad.

En conjunto, la mezcla con 20% de isobutanol evidencia una reducción significativa del CO en las motocicletas Z250 y Duke200, que se mantienen con valores bajos y estables en todas las cargas. La Er-6n, aunque reduce sus emisiones en el 75% de carga, continúa siendo la que presenta los valores más altos de CO en general. Esto demuestra que el efecto del isobutanol depende de las características del motor: mientras que en motocicletas de menor cilindrada se observa una mejora más evidente en la disminución del CO, en motores más grandes como el de la Er-6n los beneficios son menos pronunciados.

Figura 3-30 CO promedio para mezcla IB 20 % en condiciones estacionarias

En la Figura 3-31 (IB 30%) se presenta el comportamiento del monóxido de carbono para las motocicletas Er-6n, Z250 y Duke200 durante las pruebas estacionarias con una mezcla que contiene 30% de isobutanol. Los valores corresponden a los promedios obtenidos en las zonas estables de cada carga aplicada (25%, 50% y 75%), junto con sus desviaciones estándar.

En el 25% de carga, la motocicleta Z250 registra el valor más elevado de CO con 0,877%, seguida de la Er-6n con 0,503%, mientras que la Duke200 presenta el nivel más bajo con 0,317%. Las desviaciones asociadas son reducidas en todas las motocicletas, siendo la Er-6n la que muestra la variación más baja (0,0163), lo cual indica una combustión más estable en esta condición. Aunque la mezcla al 30% suele mejorar la oxidación en motores pequeños, en este caso la Z250 evidencia una mayor sensibilidad a los cambios de carga, generando un valor superior de monóxido en esta primera etapa.

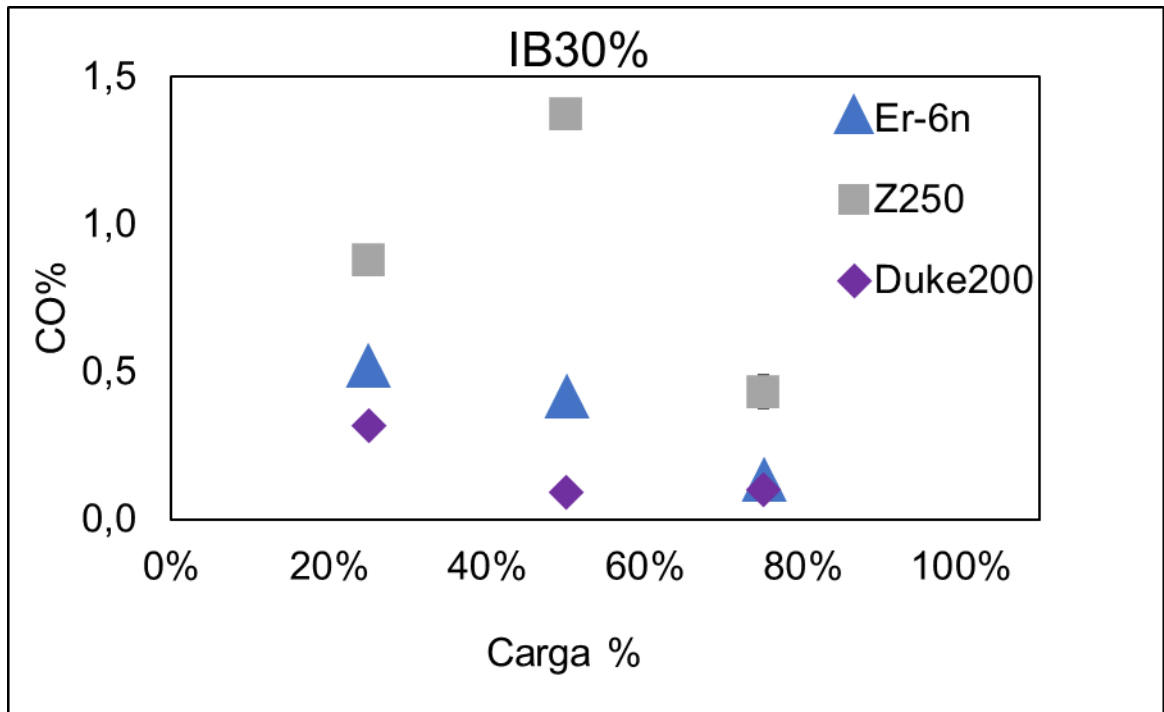
Al incrementar la carga al 50%, los valores de CO muestran un comportamiento distinto. La Z250 vuelve a presentar el valor más alto con 1,375%, mientras que la Er-6n alcanza 0,396% y la Duke200 desciende a 0,09%. Las desviaciones siguen siendo bajas en

general, destacándose la Duke200 con un valor prácticamente nulo, lo que refleja estabilidad en el proceso de combustión. La Z250, por su parte, presenta un leve incremento en la variabilidad (0,0071), pero se mantiene dentro de un rango aceptable. Este comportamiento confirma que, bajo cargas medias, la mezcla al 30% provoca un aumento más notorio en el CO de la Z250 frente a las otras dos motocicletas.

En el 75% de carga, se observa una disminución general de las emisiones respecto al 50%. La Z250 continúa con el valor más alto (0,4324%), seguida por la Duke200 (0,1%) y finalmente la Er-6n (0,1144%). Aunque los valores de CO en esta etapa son menores que en cargas medias, las desviaciones evidencian comportamientos distintos: la Z250 refleja la mayor variabilidad (0,0579), mientras que la Duke200 mantiene nuevamente una desviación de 0, demostrando estabilidad en la combustión a altas cargas. La Er-6n muestra valores bajos tanto en emisiones como en variabilidad.

Como tendencia general, la mezcla IB 30% produce una reducción del CO en la Er-6n y la Duke200 conforme aumenta la carga, mientras que en la Z250 ocurre lo contrario: sus emisiones aumentan en cargas medias y se mantienen como las más altas en todos los porcentajes evaluados. Esto sugiere que la respuesta del CO ante el incremento de isobutanol depende de la arquitectura del motor y de la estrategia de inyección de cada motocicleta. En motores de mayor cilindrada, como la Er-6n, el isobutanol contribuye a una combustión más limpia en cargas altas; mientras que, en motores de mediana cilindrada, como la Z250, puede generar enriquecimientos puntuales que aumentan momentáneamente el CO.

Figura 3-31. CO promedio para mezcla IB 30 % en condiciones estacionarias



3.4 Análisis del rendimiento y emisiones con ciclo de conducción (AMVA) pruebas dinámicas.

Dadas las pérdidas de potencia analizadas es importante considerar los resultados obtenidos en las emisiones de gases por cada motocicleta durante el ciclo de conducción

Los ensayos se centraron en tres compuestos: el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC) y oxígeno (O₂), que fueron monitoreados en cada uno de los subciclos de conducción: velocidades bajas, medias, altas y extra altas.

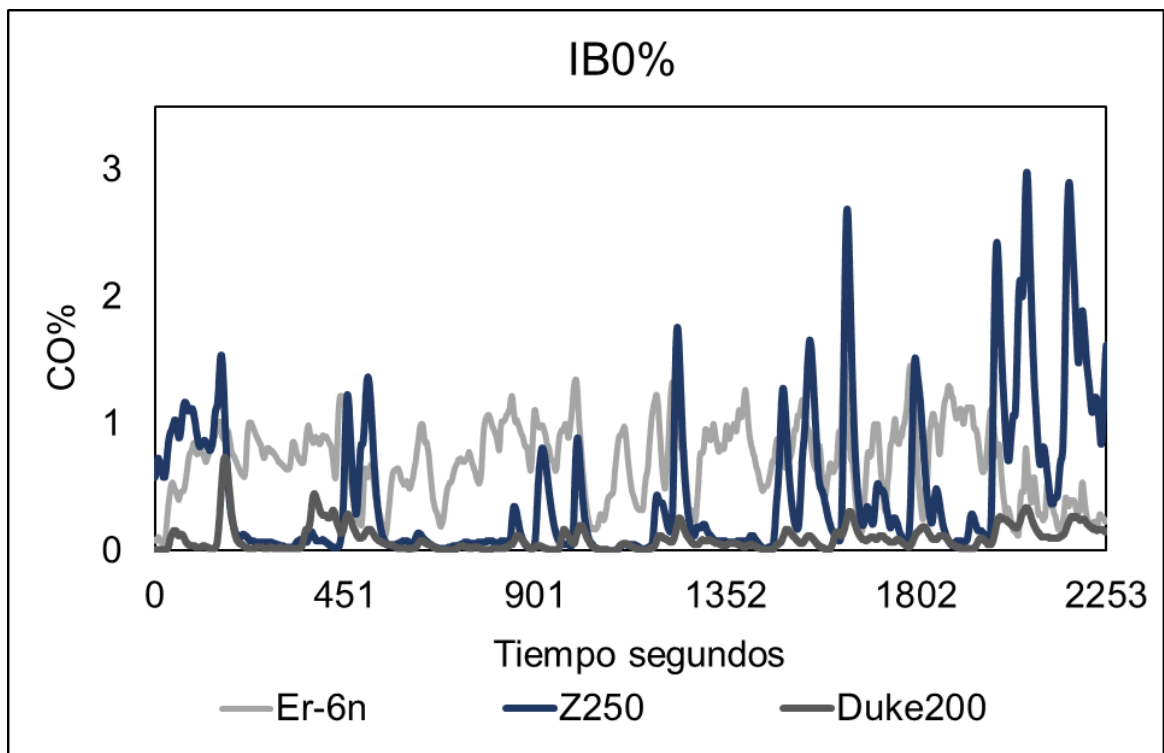
Estos hallazgos, permiten comparar el alcance de las distintas mezclas de combustible entre ellas (gasolina con 10%, 20% y 30% de isobutanol) y examinar la variación de las emisiones en el trayecto de la prueba (en segundos).

3.4.1 Análisis de emisiones CO% con mezclas de isobutanol.

En la Figura 3-32 se relacionan las emisiones de CO (%) obtenidas de los resultados de las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 que fueron gestionadas con gasolina sin

isobutanol (IB 0%) durante el ciclo dinámico cumplido. En esta figura se observó que la Z250 muestra los picos más elevados de la prueba, consiguiendo un valor máximo de 2,98%, incluyendo variaciones constantes y de gran amplitud en el transcurso de todo el tiempo. Por otro lado, la ER-6n muestran valores intermedios que alcanzan un punto hasta 1,49%, mientras que la Duke 200 se presenta como la motocicleta con mínimas emisiones en esta mezcla, alcanzando un valor de 0,74%. En términos generales, la gráfica evidencia que la Z250 es la que en sus registros obtiene mayores fluctuaciones, por ende, mayor predisposición a producir CO en condiciones sin alcohol en el combustible. Esta postura propone una combustión menos eficiente en esta motocicleta en comparación con las otras dos, en tanto que la Duke 200 proporciona un control más estable y emisiones reducidas, revelando una combustión más completa a través del ciclo.

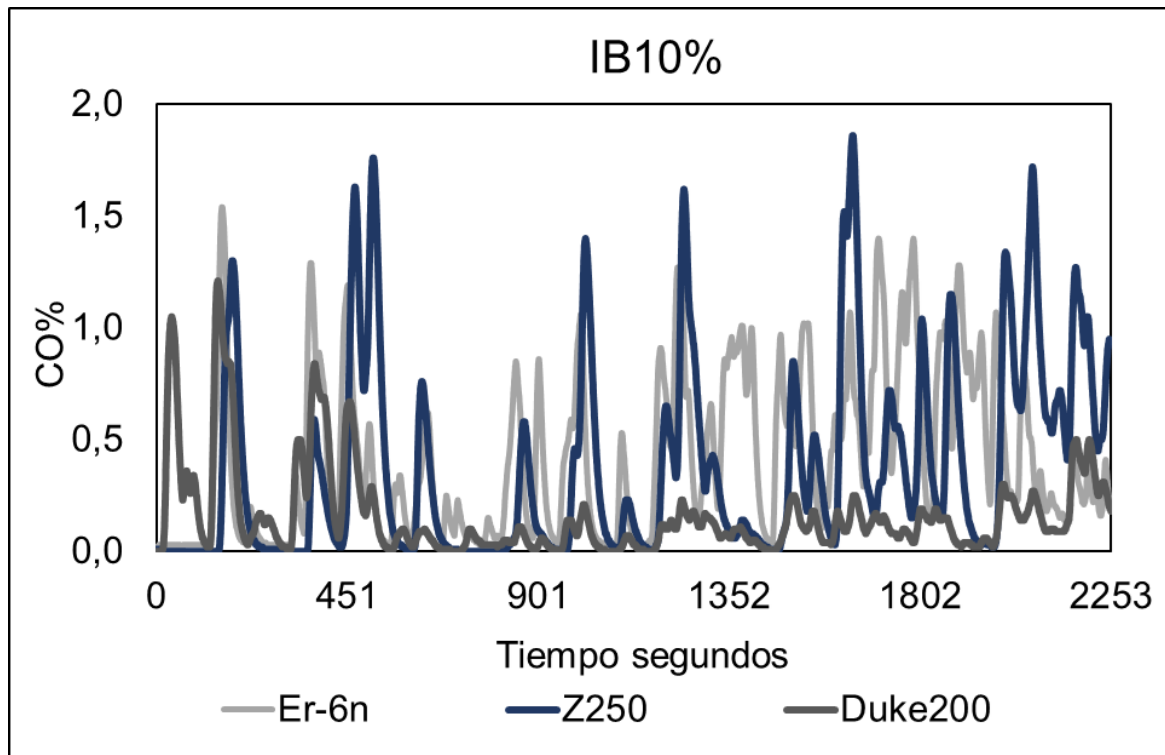
Figura 3-32 Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas



Del mismo modo, en la Figura 3-33, para la mezcla con 10% de isobutanol (IB 10%), los resultados presentan que, si bien la motocicleta Z250 sigue mostrando los valores más altos de CO con un máximo del 1,86%, además evidencia una notable reducción con relación a la mezcla anterior. La ER-6n y la Duke 200 alcanzan el 1,54% y 1,21%, respectivamente, siendo la motocicleta Duke la de variación más constante. En comparación con los datos anteriores, todas las motocicletas presentan curvas más suaves

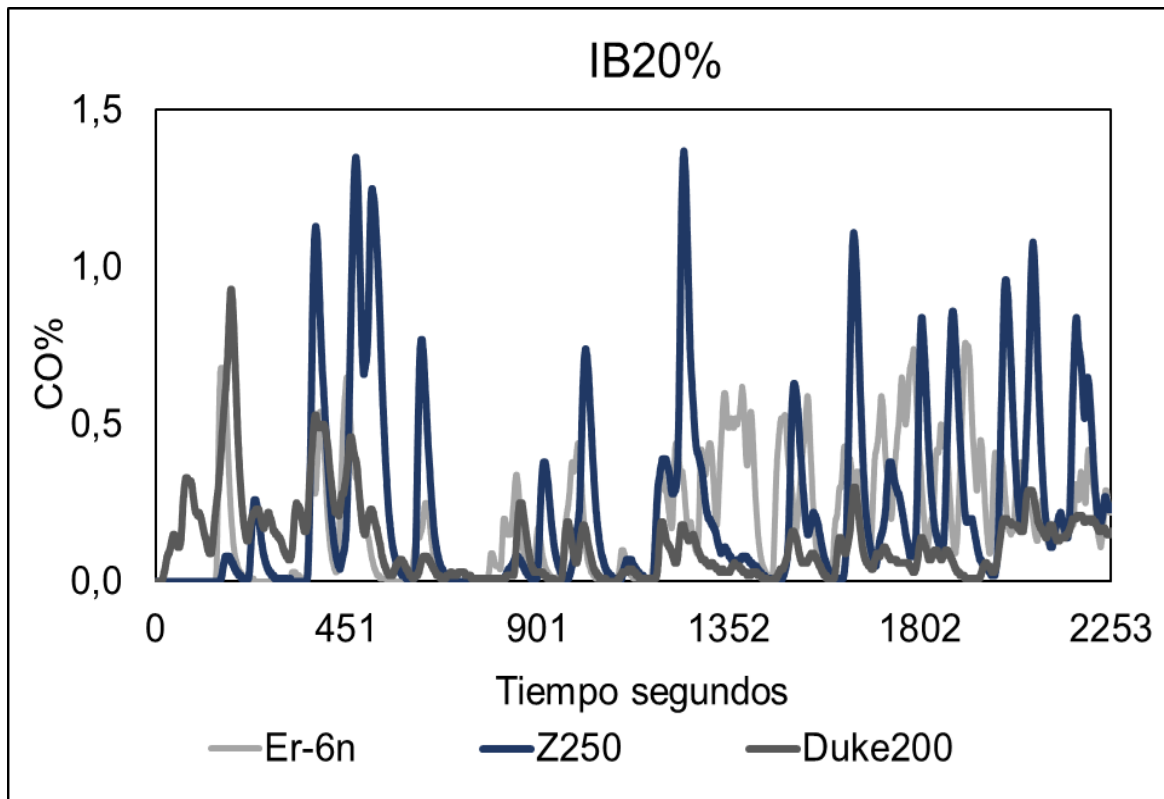
y picos menores, especialmente en los primeros 500 segundos. Esta disminución señala una optimización en la eficiencia de la combustión y una menor formación de CO, aplicable al contenido de oxígeno del isobutanol en la mezcla.

Figura 3-33 Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas



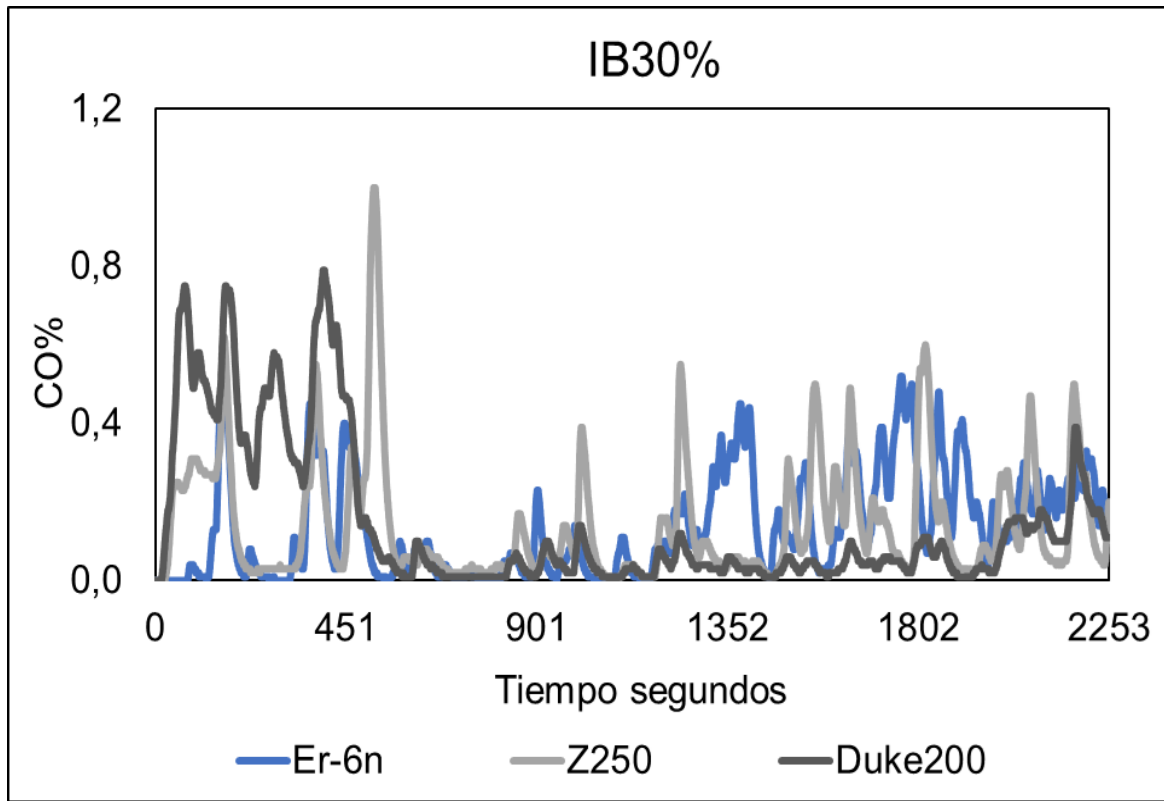
En la Figura 3-34 corresponde a las emisiones con la mezcla de 20% de isobutanol (IB 20%), donde reiteradamente la Z250 muestra los valores máximos en 1,37%, lo que denota una reducción frente a las mezclas anteriores. Por otra parte, la Duke 200 presenta un máximo de 0,93%, en tanto que la ER-6n llega a 0,76%. También se observa que la motocicleta Duke presenta un valor alto al iniciar el ciclo, pero posteriormente se estabiliza y reduce el nivel de sus fluctuaciones, en cambio la Z250 y la ER-6n mantienen sus condiciones, aunque con fluctuaciones más contenidas. Este comportamiento evidencia que el incremento al 20% de isobutanol favorece una baja de las emisiones de CO, lo que sugiere una combustión realmente más eficiente, reflejando picos más estables y de menor amplitud, evidenciando la misma tendencia que en las mezclas observadas.

Figura 3-34 Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas



Para la mezcla de 30% de isobutanol (IB 30%), como lo muestra la Figura 3-35, se muestra la proporción más alta valorada en los resultados obtenidos. En la figura las tres motocicletas muestran una considerable estabilidad después de los 500 segundos iniciales, con fluctuaciones pequeñas y comportamiento más invariable que en las mezclas precedentes. Los picos máximos obtenidos fueron 0,52% para la ER-6n, 1,00% para la Z250 y 0,79% para la Duke 200, cabe anotar que el incremento del isobutanol ocasiona una reducción considerable del CO, notablemente valores iniciales.

Figura 3-35 Comparativa de CO% vs Tiempo de Motocicletas



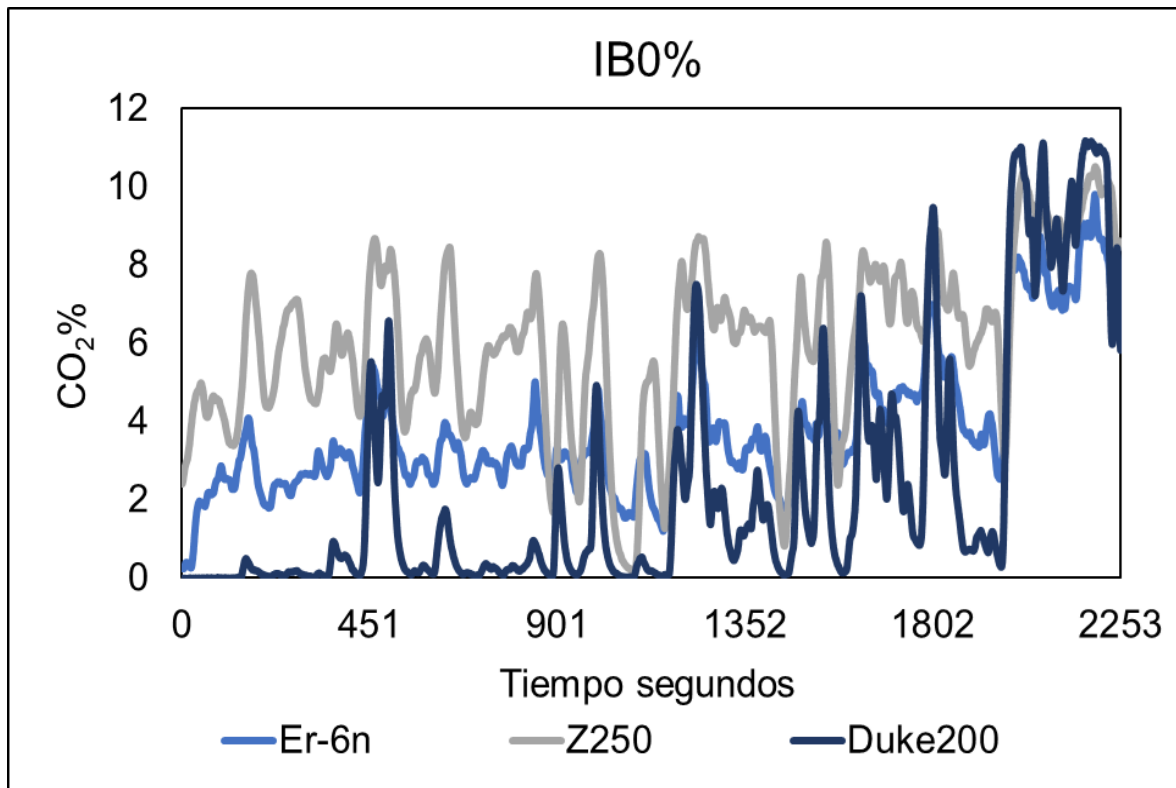
3.4.2 Análisis de emisiones CO₂ con mezclas de isobutanol.

En la Figura 3-36 se presentan las emisiones de CO₂ (%) para las motocicletas ER-6n, Z250 y Duke 200 en pruebas de gasolina sin isobutanol (IB 0%). En la figura se divisó que la Duke 200 tiene los índices más bajos de CO₂ a lo largo de gran parte del ciclo, con una curva más contenida y menos acentuada que las otras motocicletas. La ER-6n muestra picos intermedios, Los hallazgos de la mezcla sin isobutanol. tienen una tendencia definida: las emisiones de CO₂ aumentan en respuesta a la elevada carga del motor en el transcurso del aumento de velocidad en el ciclo, mientras que la Z250 registra niveles altos, principalmente al final, evidenciando una mayor capacidad a crear CO₂ comparado con la ER-6n, que se conservó más contenida.

En tal aspecto, Los niveles máximos (Duke 200: 11.18%, Z250: 10.52%, ER-6n: 9.81%) contemplan esta evidencia. De tal manera la figura demuestra que cuando no hay alcohol

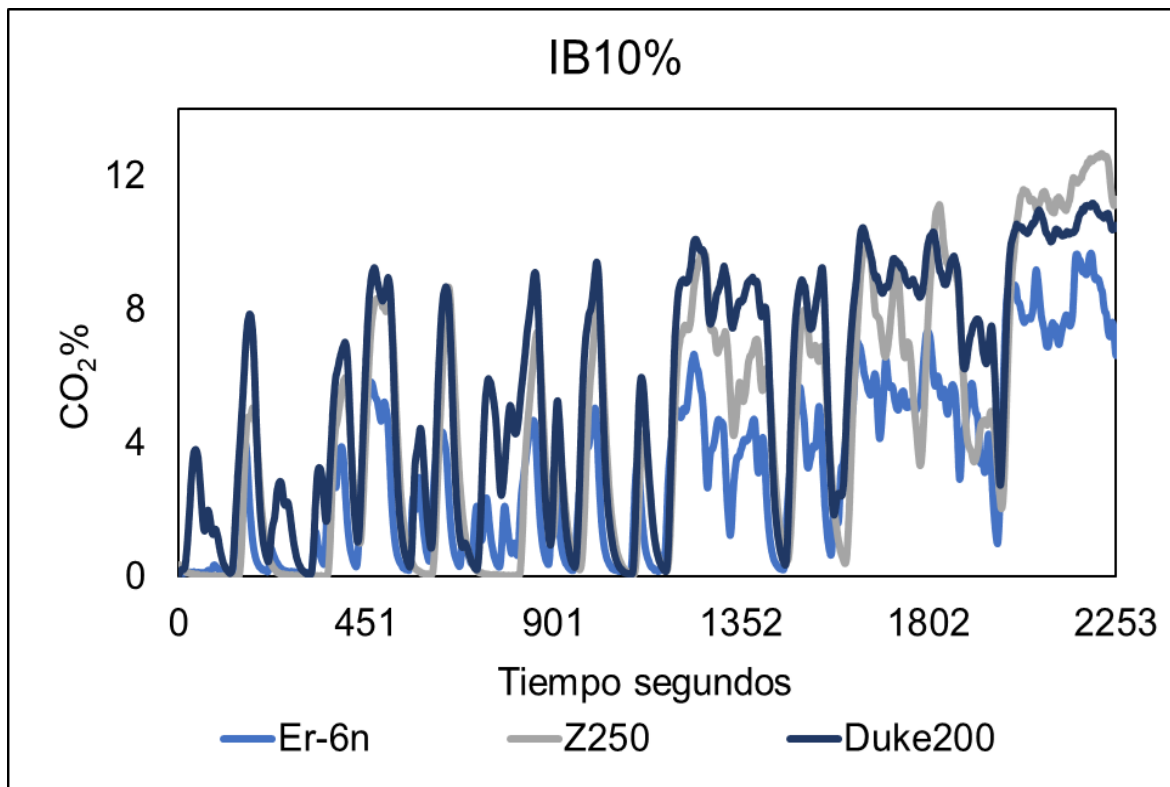
en la mezcla, el aumento de CO_2 es una causa directa de los requerimientos del período de conducción.

Figura 3-36 Comparativa de CO_2 vs Tiempo de Motocicletas



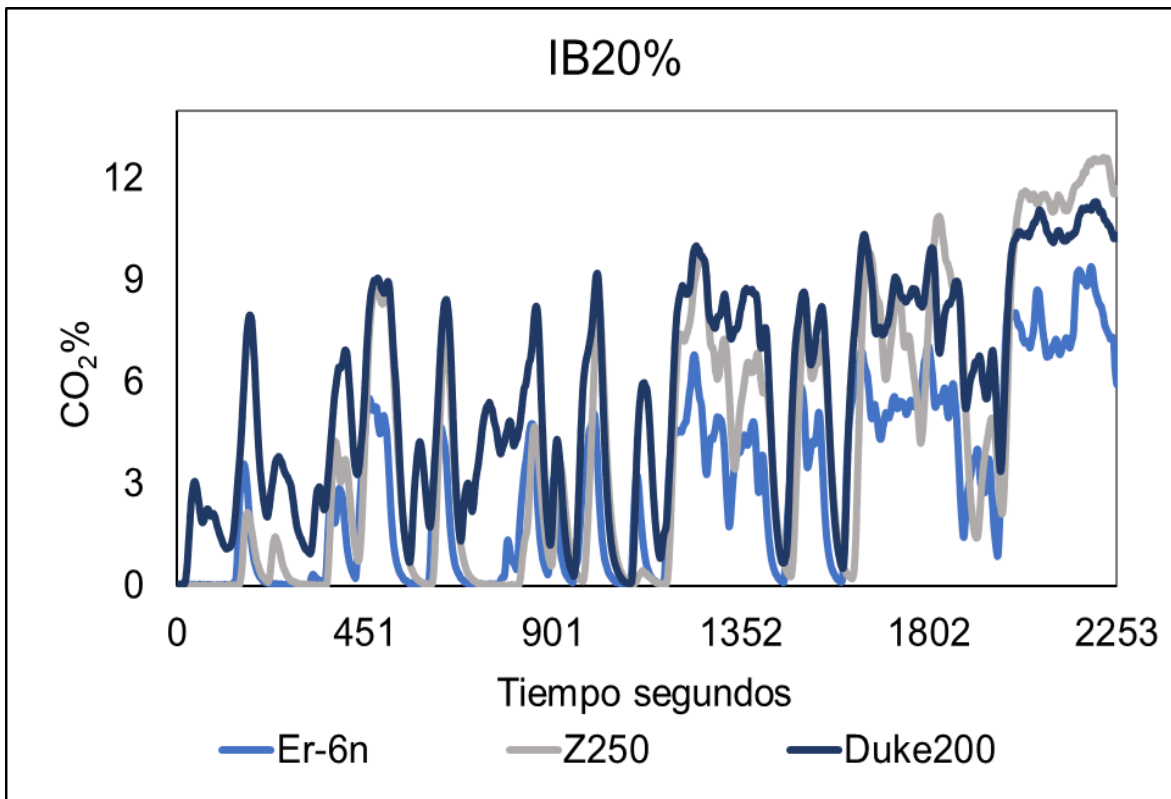
Los resultados obtenidos al aplicar la mezcla con 10% de isobutanol (IB 10%) presentados en la Figura 3-37, presentan curvas de emisión más limpias y definidas, con reducidas fluctuaciones comparado con la mezcla sin alcohol. Las emisiones de CO_2 tienden a elevarse dentro del ciclo, pero con progresiones más estables y mínimas variaciones al inicio. La Z250 produjo el valor más alto (12.62%), luego sigue la Duke 200 (11.18%), y por último esta la ER-6n con (9.69%) siendo el valor más bajo y registra la menor producción de E de CO_2 de la ER-6n mostrando un ciclo de combustión más estable y muestra un ciclo de combustión constante y equilibrado con el combustible (IB 10%).

Figura 3-37 Comparativa de $\text{CO}_2\%$ vs Tiempo de Motocicletas



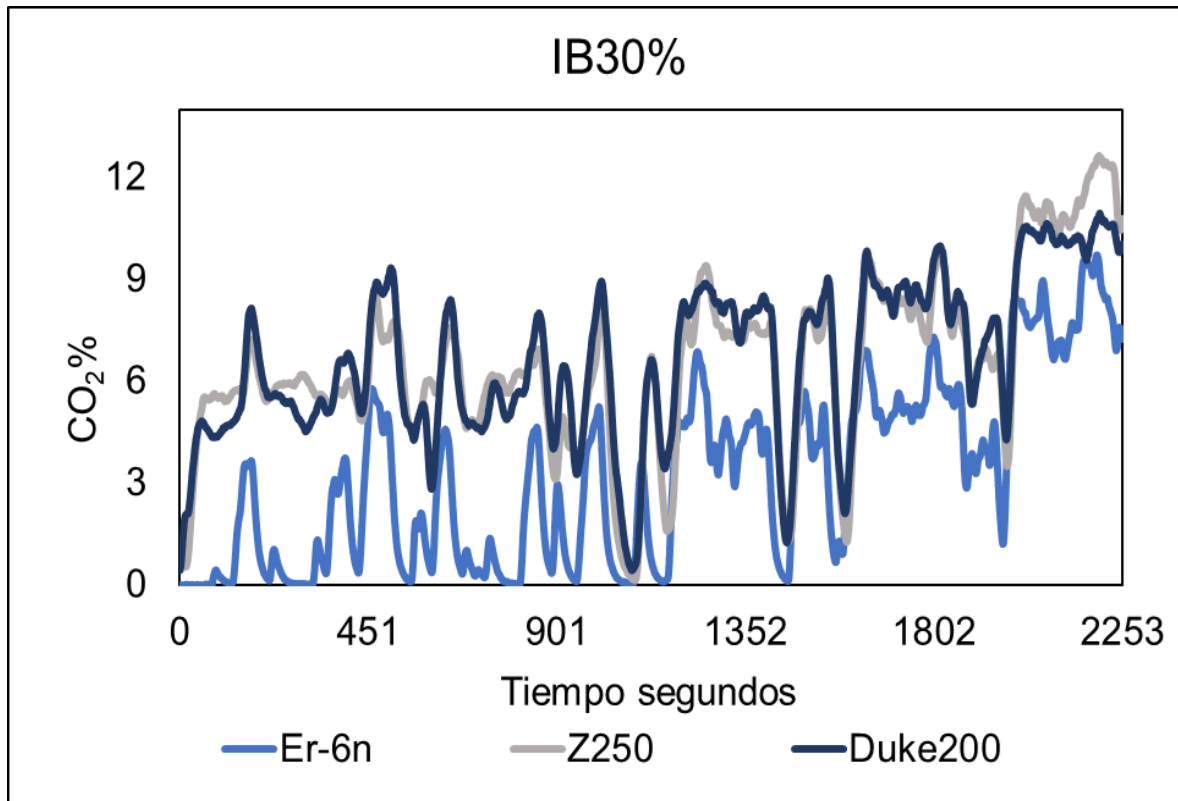
En la Figura 3-38, muestra la mezcla con 20% de isobutanol, la cual repite la misma relación entre las motocicletas: la ER-6n sigue presentando las emisiones más bajas de CO₂, obteniendo un valor de 9.40%, entre tanto la Z250 alcanzó un máximo con 12.62%, y de manera intermedia la Duke 200 con 11.31%. Esta figura denota que la ER-6n sigue una conducta más estable con picos menos marcados, las otras 2 motocicletas muestran oscilaciones muy amplias y curvas parecidas entre ellas, en particular en la segunda mitad del periodo de conducción. La semejanza entre la Z250 y la Duke muestra que ambas funcionan de forma similar ante el aumento de carga y aumento de velocidad del ciclo, esto evidencia que la mezcla del 20% en la figura muestra que el CO₂ se incrementa gradualmente de acuerdo con el avance el ciclo, lo que concuerda con el funcionamiento normal del motor a medida que se incrementa la demanda energética.

Figura 3-38 Comparativa de CO₂% vs Tiempo de Motocicletas



Los hallazgos generados de la mezcla (IB 30%) que se visualizan en la figura 3-39 confirman el estándar de emisiones observado. La ER-6n continúa manteniendo los valores más bajos de CO₂, con una curva en gran medida más estable. La Z250 y la Duke 200, ahora bien, muestran una conducta paralela, con variaciones más fuertes y un aumento mayor al final del ciclo, coincidiendo con periodos de mayor exigencia del motor. Desde esta perspectiva, la discrepancia entre los dos modelos se modera, entre tanto, la ER-6n se sostiene transcurriendo cerca de toda la prueba, en síntesis, el isobutanol ajusta gradualmente las emisiones.

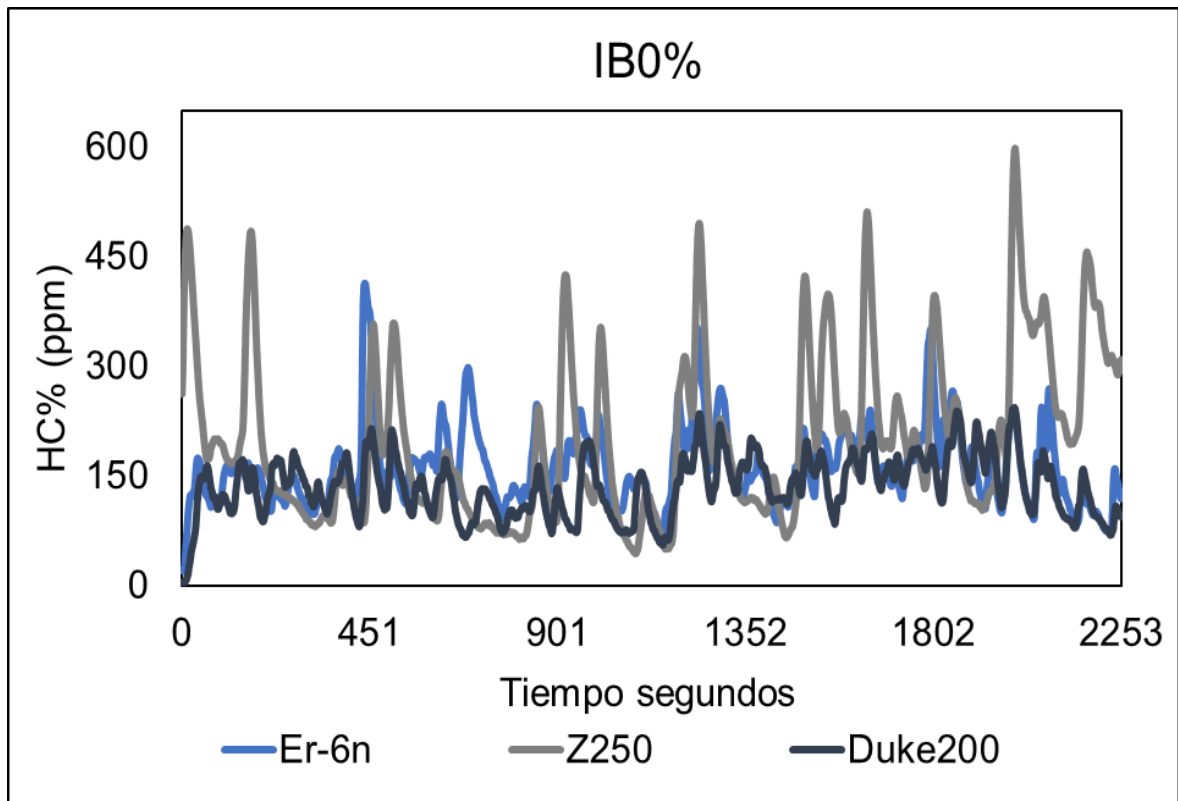
Figura 3-39 Comparativa de CO₂% vs Tiempo de Motocicletas



3.4.3. Análisis de HC % con mezclas de Isobutanol

La Figura 3-40, muestra la mezcla sin isobutanol (IB 0%) y las emisiones de hidrocarburos (HC) a través del ciclo. La Duke 200 y la ER-6n exhiben trayectos parecidos, con variaciones equivalentes en el transcurso de la prueba. Mientras que la Z250 registra elevaciones pronunciadas en ciertos momentos del ensayo, alcanzando un máximo de 598,33 ppm y ubicándose como la de mayores emisiones. Después de esto, sus niveles disminuyen hasta situarse a valores aproximados a las otras motocicletas. Los picos máximos marcados para la ER-6n fue de 243,67 ppm y la Duke 200 de 413,67 ppm, demostrando diferencias importantes en la formación de HC, esta variación se genera porque el combustible no se quema en su totalidad en aumentos de velocidad bruscos o en donde la mezcla aire-combustible no se oxida completamente; sin embargo, en motores como Z250 más sensibles con cambios temporales, como mezclas de gasolina sin aditivos, presentan picos de emisión más pronunciados.

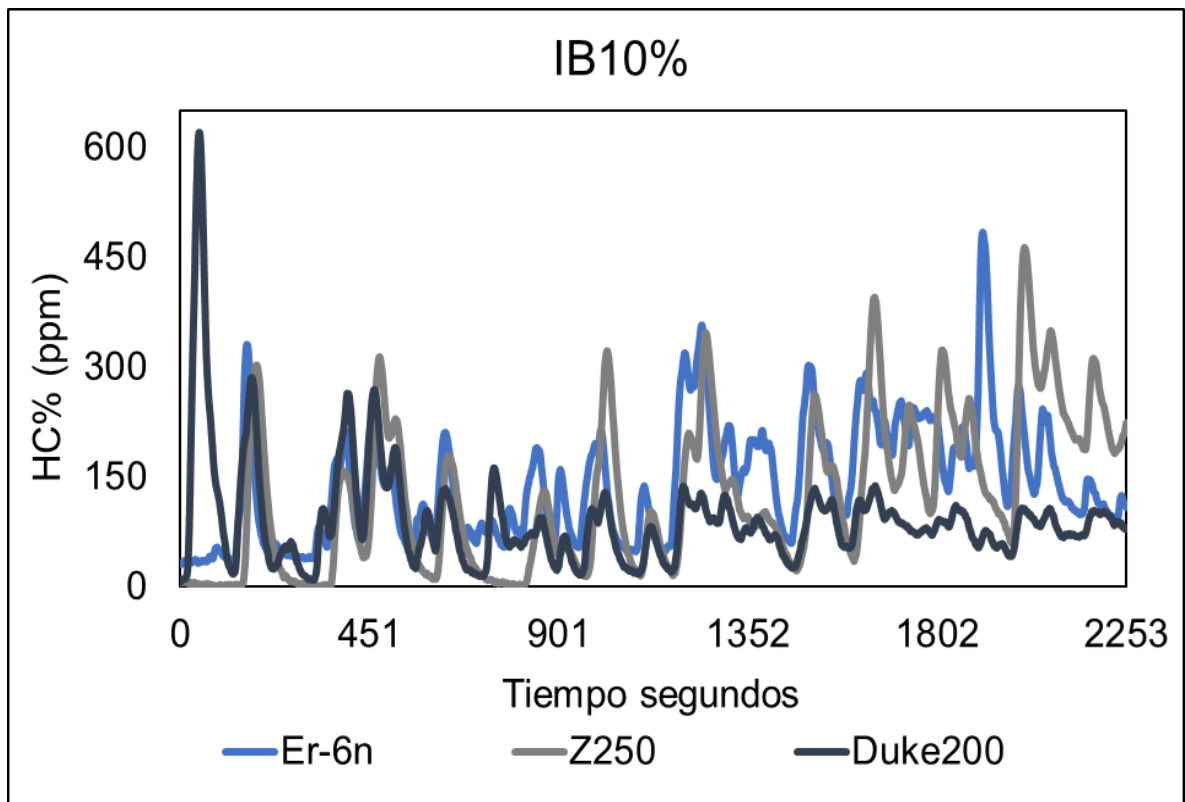
Figura 3-40 Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas



En la mezcla con un 10% de isobutanol (IB 10%), revela un cambio relevante en cuanto a emisiones de hidrocarburos (HC) de las tres motocicletas evaluadas tal como lo muestra la Figura 3-41. En este sentido, la Duke 200 demuestra el valor inicial más alto, con (620,67 ppm), luego la motocicleta Z250 (463,33 ppm) y por último la ER-6n (484,17 ppm). Comparando lo anterior, las curvas de la ER-6n y la Z250 presentan un comportamiento parecido durante la mayor parte del ciclo, con variaciones una tendencia notablemente paralela a lo largo de gran parte del ciclo, con fluctuaciones coordinadas.

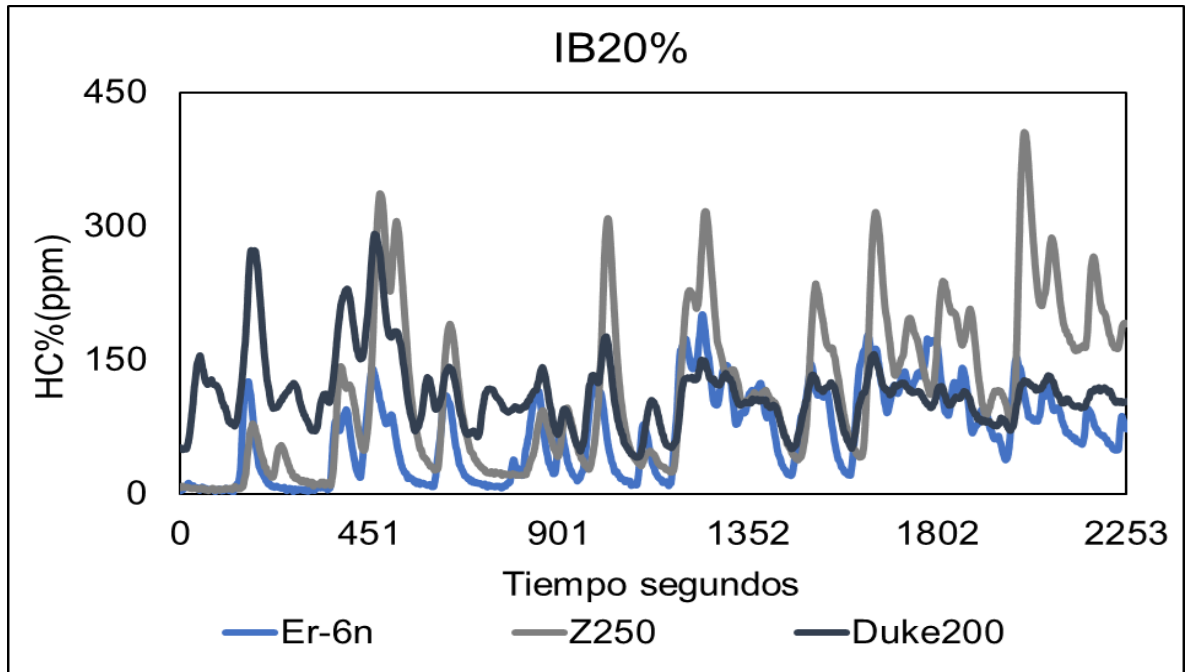
En contraste con la motocicleta Duke 200, que, aun teniendo picos máximos al iniciar la prueba, se estabiliza y conserva valores bajos y constantes ya para finalizar la prueba, lo que revela un progreso en su combustión en este punto. Un efecto importante es que, en diversos instantes de la prueba, las emisiones de las tres motocicletas se acercan a 0 ppm, lo que marca espacios de combustión casi que completa, esto se debe a la contribución de oxígeno del isobutanol, que beneficia una oxidación más limpia de los hidrocarburos sin quemar.

Figura 3-41 Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas



En el análisis de la mezcla con 20% de isobutanol (IB 20%), se demostró una reducción gradual en las emisiones de HC, en relación con bajas concentraciones, pese a que se observa el mismo comportamiento anterior plasmado por las motocicletas como lo muestra la Figura 3-42. Por otra parte, la motocicleta Z250 continúa siendo la que más genera emisiones de hidrocarburos (HC), con un valor de (405,50 ppm), seguido de la Duke 200 con (291,50 ppm) y finalmente, la ER-6n que casi no tiene emisiones de HC con un valor de (201,33 ppm).

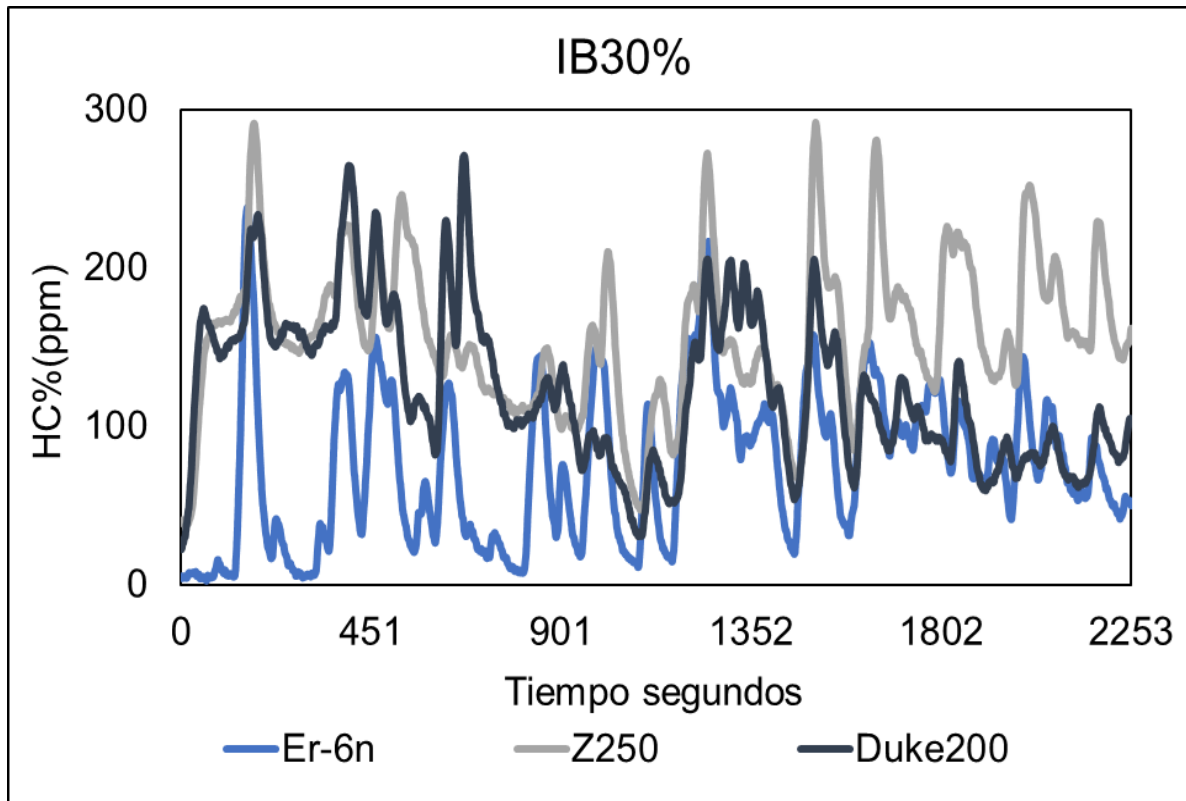
En tal sentido, un factor importante es que las motocicletas ER-6n como la Z250 en ciertos instantes logran emisiones casi nulas (cerca de 0 ppm), lo que equivale a que el combustible se quema de manera limpia en esos momentos. Esta consecuencia no se revela de la misma manera en la Duke 200, debido a que sus emisiones no llegan a niveles bajos, lo cual demuestra que el motor de cada motocicleta emplea de manera diferente el oxígeno que proporciona el isobutanol para mejorar la combustión.

Figura 3-42 Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas

En la Figura 3-43, se muestra la mezcla de 30% de isobutanol (IB 30%), se comprobó que en las tres motocicletas los niveles de hidrocarburos (HC), son más leves y con menos picos elevados que como se mostró en experimentos anteriores. La ER-6n para esta concentración genera menos niveles de hidrocarburos con un máximo de (237,83 ppm), entre tanto la Z250 tuvo el valor más elevado de este ensayo en (291,83 ppm), sin embargo, muestra una diferencia menor que con una menor concentración de isobutanol, la Duke 200 en este ensayo se ubicó de manera intermedia con (271,00 ppm), sus variaciones fueron más tenues respecto a la anterior prueba.

En comparación con los valores anteriores, los picos de emisión muestran un nivel bajo cuando se aumenta el porcentaje de isobutanol. Por lo tanto, las mezclas con gasolina pura o con mínimo alcohol los valores exceden los 400 o 600 ppm, que no es el caso de este ensayo.

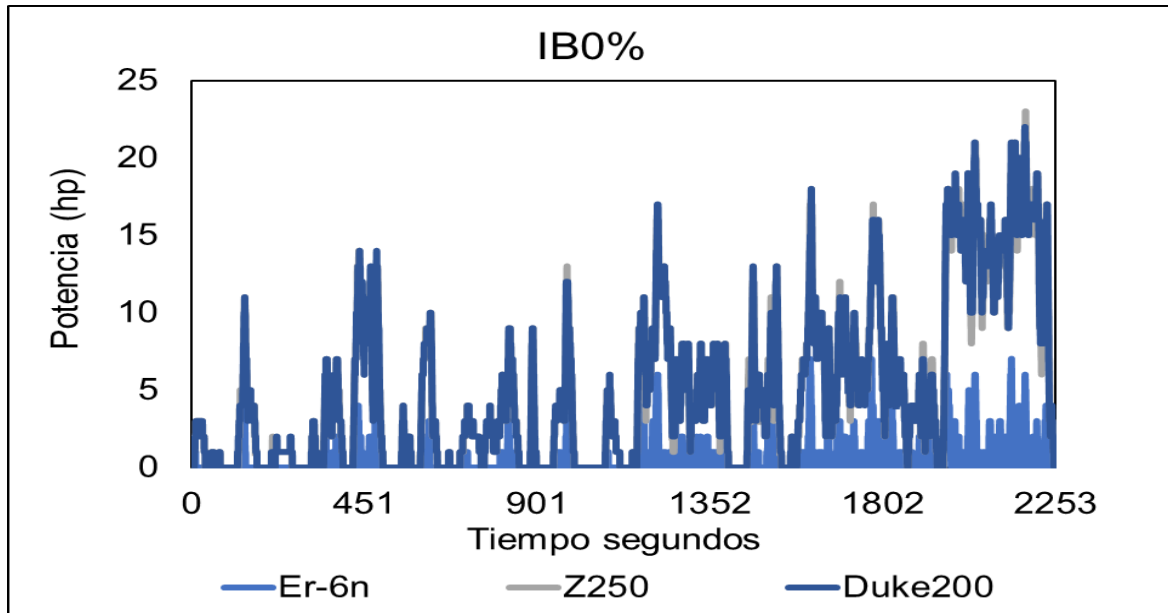
Figura 3-43 Comparativa de HC % vs Tiempo de Motocicletas



3.4.4 Análisis de potencia con mezclas de isobutanol con gasolina

En la Figura 3-44 se observa el comportamiento de la potencia desarrollada por las tres motocicletas durante el ciclo AMBA con 0% de isobutanol. La Z250 y la Duke200 presentan curvas más activas y con mayor densidad de picos a lo largo del tiempo, lo que evidencia una mejor capacidad de respuesta frente a las variaciones de carga aplicadas por el dinamómetro. En contraste, la Er-6n entrega valores notablemente inferiores y con menor variabilidad.

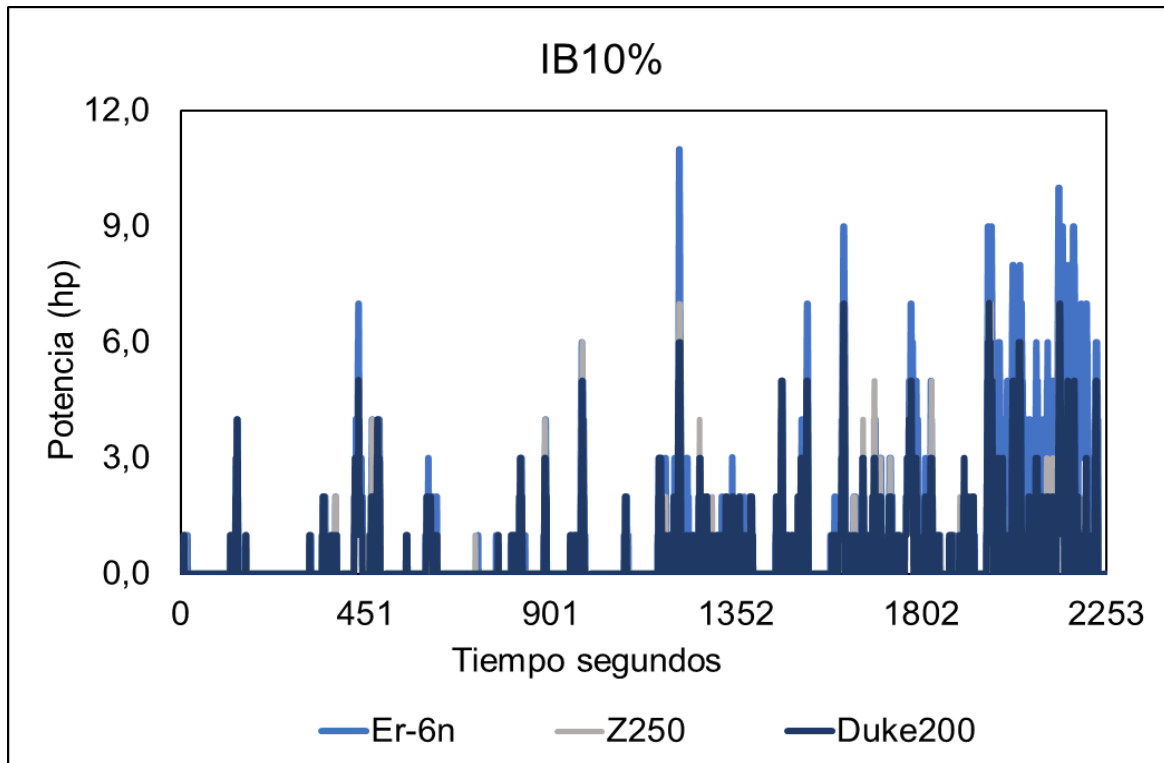
La potencia máxima registrada fue de 23 hp en la Z250, 22 hp en la Duke200 y 7 hp en la Er-6n, mostrando una diferencia clara entre los motores de menor cilindrada y la respuesta más limitada de la Er-6n bajo mezcla base. Este comportamiento indica que, sin la presencia de isobutanol, las motocicletas de 250 cc y 200 cc sostienen una entrega más estable a lo largo del ciclo.

Figura 3-44. Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 0%)

En la Figura 3-45, correspondiente al 10% de isobutanol, se aprecia un incremento en la variabilidad de la potencia, especialmente en la Z250, que presenta los picos más altos dentro de esta mezcla. La Duke200 conserva un comportamiento similar en frecuencia y magnitud de oscilaciones, lo que sugiere que ambas motocicletas aprovechan de manera similar la presencia del aditivo oxigenado.

La potencia máxima para esta mezcla fue de 7 hp tanto en la Z250 como en la Duke200, mientras que la Er-6n alcanzó hasta 11 hp, mostrando un aumento respecto a la mezcla sin isobutanol. Esto evidencia que la adición del 10% de isobutanol favorece la combustión en la Er-6n, mejorando su capacidad de respuesta a lo largo del ciclo.

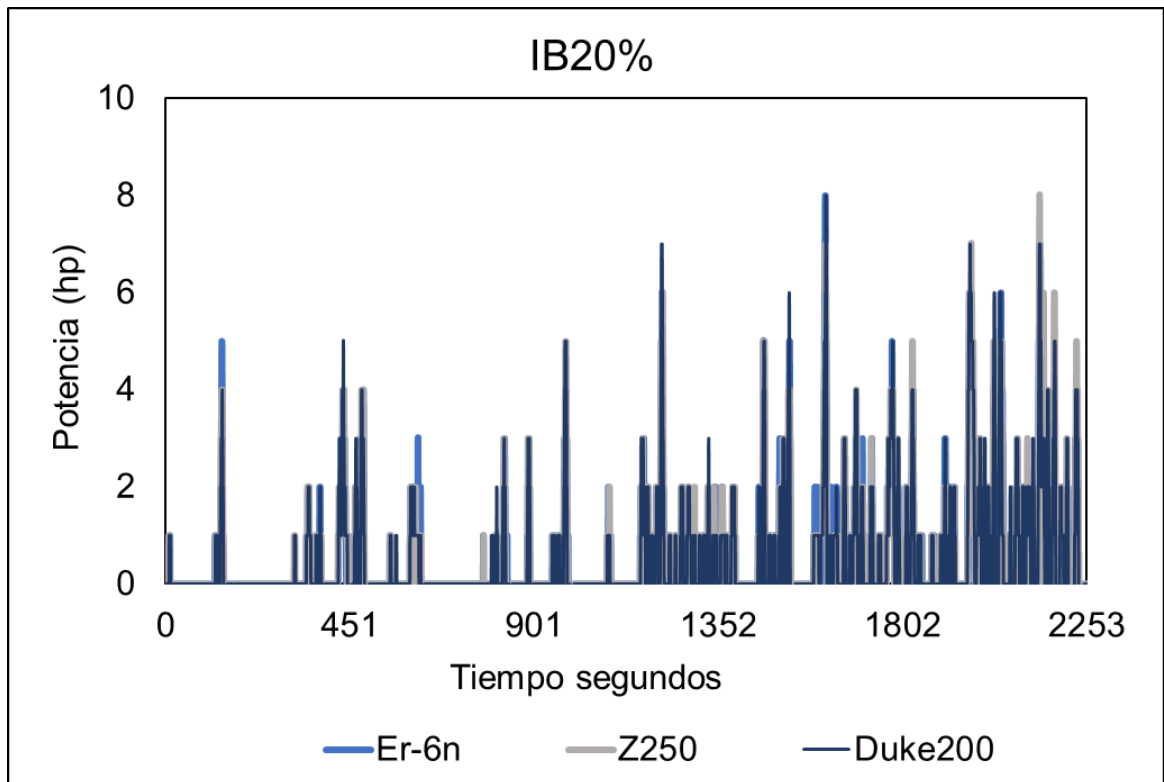
Figura 3-45. Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB10%)



La Figura 3-46 evidencia la dinámica de potencia con 20% de isobutanol, en esta figura se presenta un desempeño más semejante en los tres modelos. La Z250 y la Duke200 presentan curvas similares, mostrando un rendimiento casi parecido durante el ciclo. La Er-6n, pese a que muestra picos de menor intensidad comparado con las dos motocicletas, obtuvo mayor estabilidad que en pruebas anteriormente valoradas.

Finalmente, con esta composición las tres motocicletas llegan a una potencia máxima aproximada a 8 hp, lo que sugiere que con esta mezcla del 20% de isobutanol se obtiene una combustión más homogenizada, favoreciendo y estabiliza el comportamiento, minimizando las diferencias entre motores de diferente diseño.

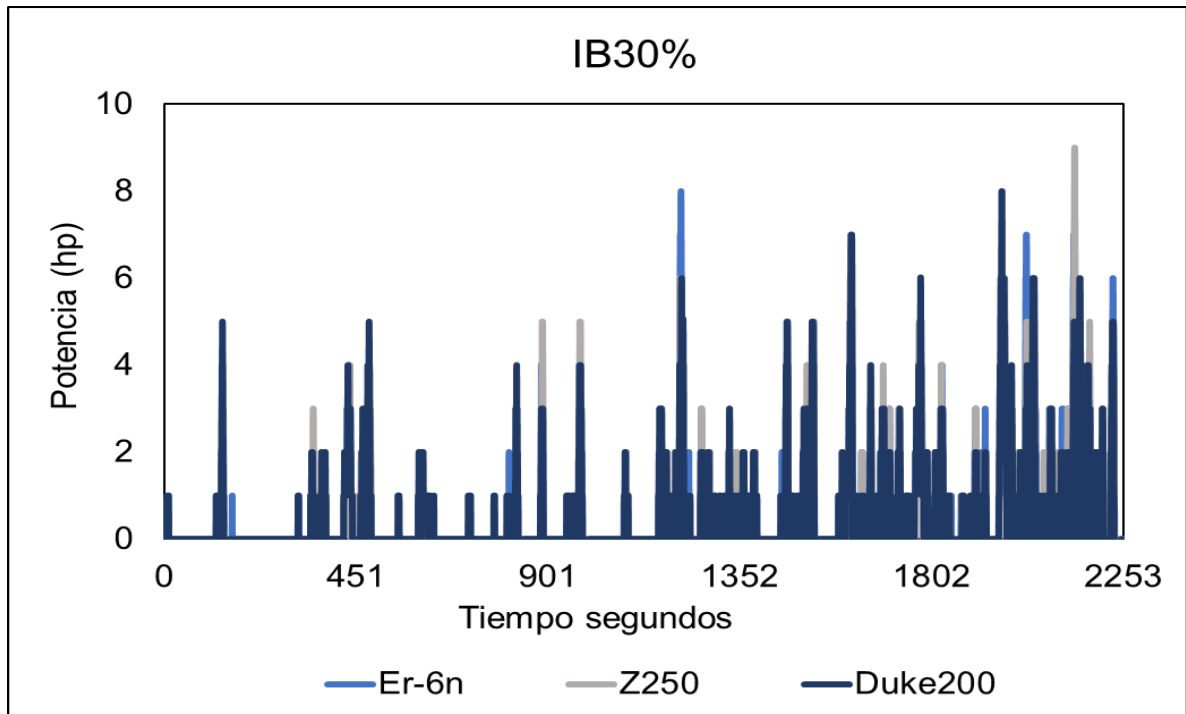
Figura 3-46. Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 20%)



En la Figura 3-47, con un 30% de isobutanol, la variación de potencia entre la Z250 y la Duke 200 continúan muy cercanas y con altos niveles de potencia en el transcurso de todo el ciclo. La Er-6n observa algunos picos puntuales más altos, aunque su rendimiento es menor que los otros dos modelos.

Los resultados obtenidos con la mezcla 30% de isobutanol fueron: para la Z250 9 la Duke200 y la ER-6n alcanzaron 8 hp, aunque la Z250 muestra una leve ventaja sobre las otras motocicletas puede deberse a un rendimiento más eficiente en mezclas con mayor concentración de oxígeno.

Figura 3-47. Potencia en el ciclo AMVA – Mezcla (IB 30%)

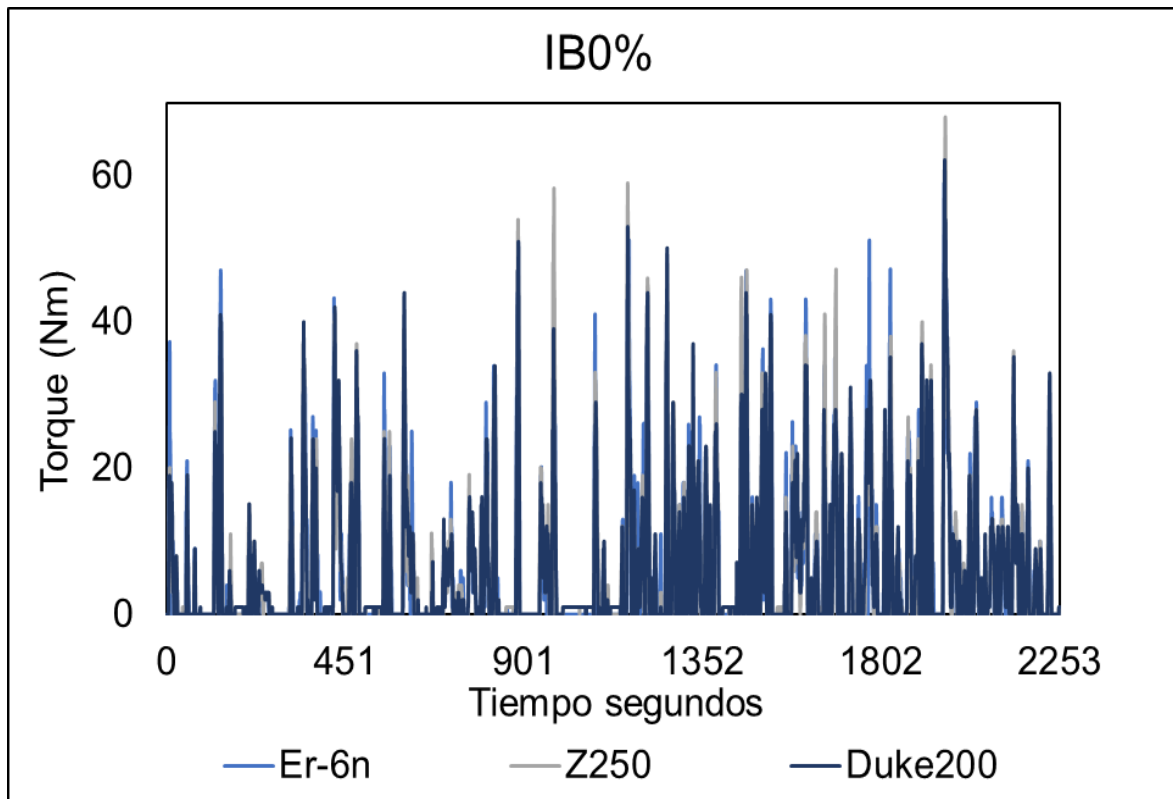


3.4.5 Análisis de torque con mezclas de isobutanol con gasolina

En la Figura 3-48, presenta el torque con gasolina pura (IB 0%), se observó que las tres motocicletas tienen un rendimiento estable durante el transcurso del ciclo AMVA. Los picos de torque se originan de manera frecuente debido a las aceleraciones y desaceleraciones del camino. De este modo, en algunos tramos una motocicleta levemente supera a las otras, sus trayectorias se sostienen próximas. Los registros máximos obtenidos fueron alrededor de 62 Nm para la Duke 200, 65 Nm para la Er-6n y 68 Nm para la Z250.

El rendimiento semejante se debe a que, al usar combustible sin oxigenación adicional, la combustión continúa estable y el torque obtenido depende principalmente del diseño del motor y de la programación de fábrica. A lo largo de la figura se evidencia que, bajo las mismas características de exigencia en la simulación del ciclo urbano, las tres motocicletas trabajan en rangos similares de esfuerzo mecánico, revelando solo variaciones inherentes por las diferencias en respuesta de aceleración de cada motor.

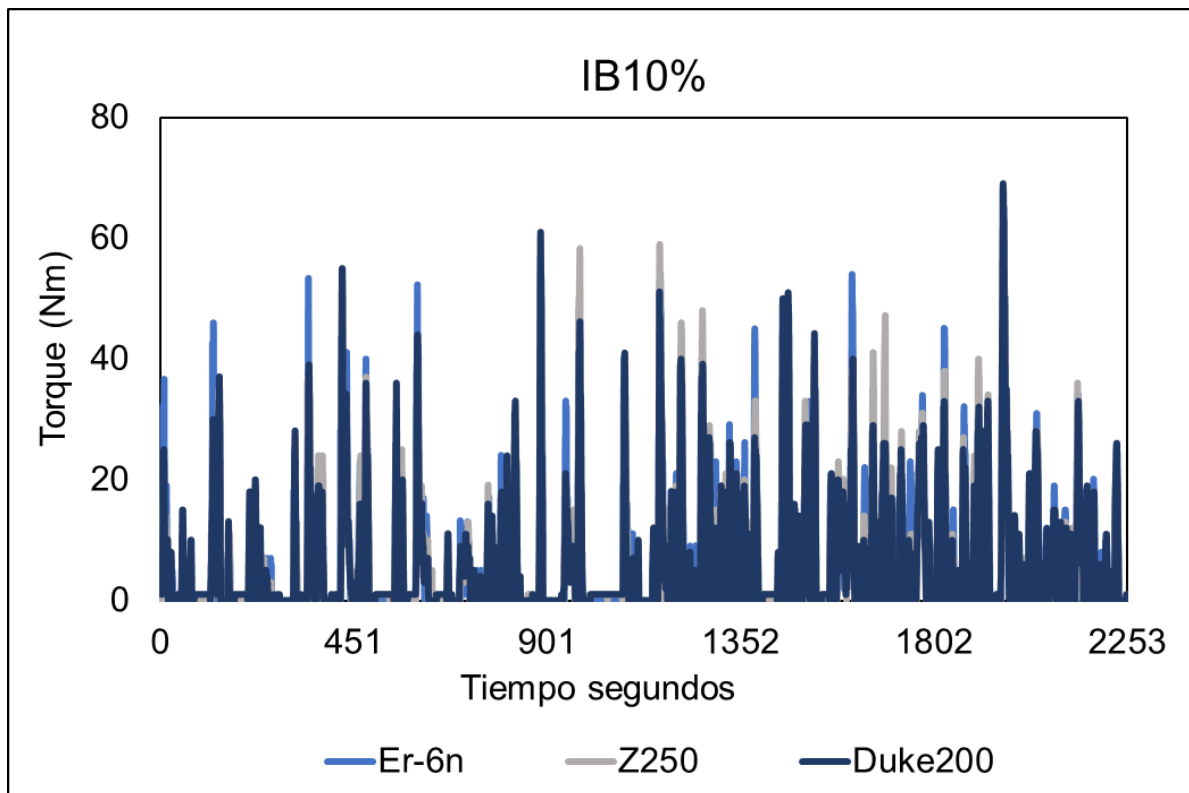
Figura 3-48. Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 0%)



En la Figura 3-49, se muestra como la mezcla con 10% de isobutanol, genera un rendimiento diferente entre las motocicletas. Se observa claramente que la Duke 200 alcanza los picos más altos, llegando a valores aproximados de 69 Nm, en tanto que la Z250 llega a unos 68 Nm y la Er-6n a alrededor de 65 Nm.

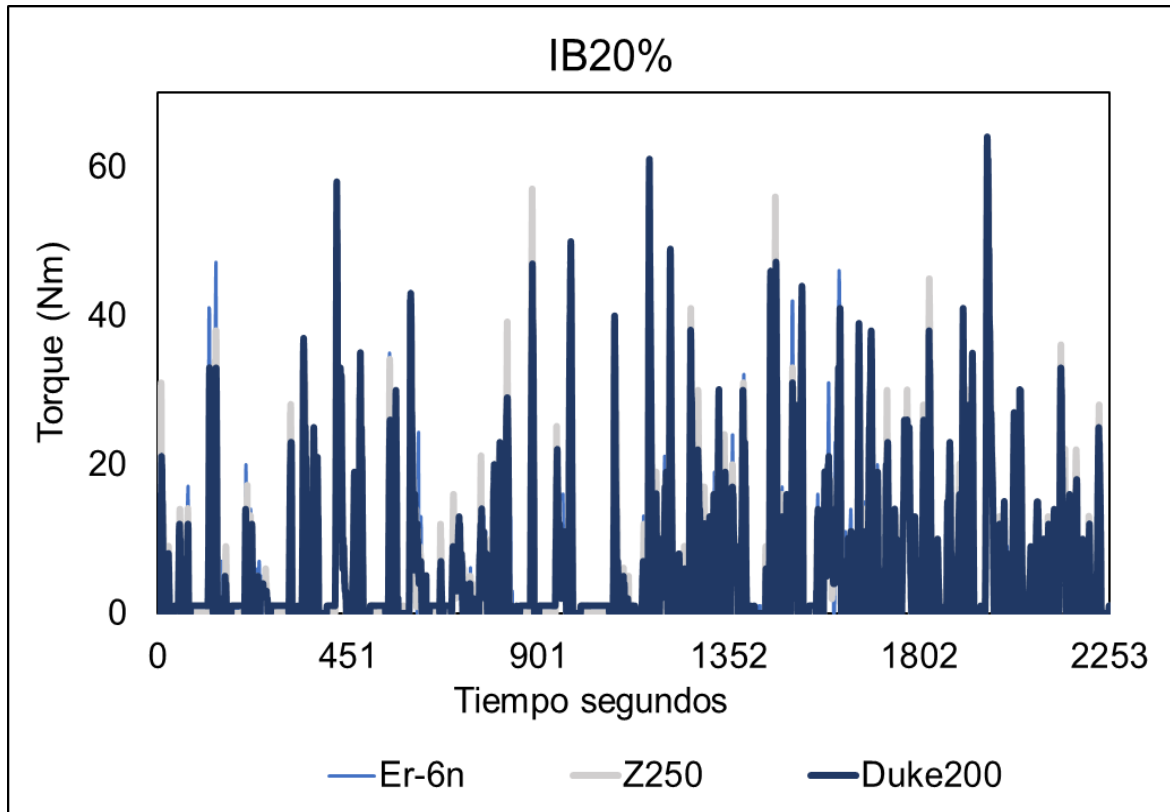
En esta figura, la Duke 200 prevalece a través del ciclo, con picos más acentuados y repetidos, lo que indica una mejor utilización de la oxigenación que brinda el isobutanol, ya que aumenta el contenido de oxígeno en el combustible, proporcionando una mejor combustión en aceleraciones cortas y permitiendo que motores pequeños como la Duke y la Z250 respondan con mayor destreza. La Er-6n conserva un buen funcionamiento, pero su motor de mayor cilindrada no muestra el mismo beneficio con la mezcla en cambios de velocidad instantánea en la simulación del ciclo urbano. Es por esto, que con esta mezcla del 10% de isobutanol se comienzan a originar condiciones dinámicas divergentes entre los tres modelos.

Figura 3-49. Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 10%)



La Figura 3-50, muestra el comportamiento referente a la mezcla del 20% de isobutanol de manera diferenciada. Por otra parte, los registros máximos de torque generaron cerca de 60 Nm en la Er-6n, 57 Nm en la Z250 y 64 Nm en la Duke 200. En el transcurso de este ciclo se evidenció que la Duke 200 y la Z250 mostraron incrementos de torque más habituales y marcados, así como la Er-6n muestra un arranque potente al comienzo, pero después mostro un comportamiento por debajo de las otras dos máquinas.

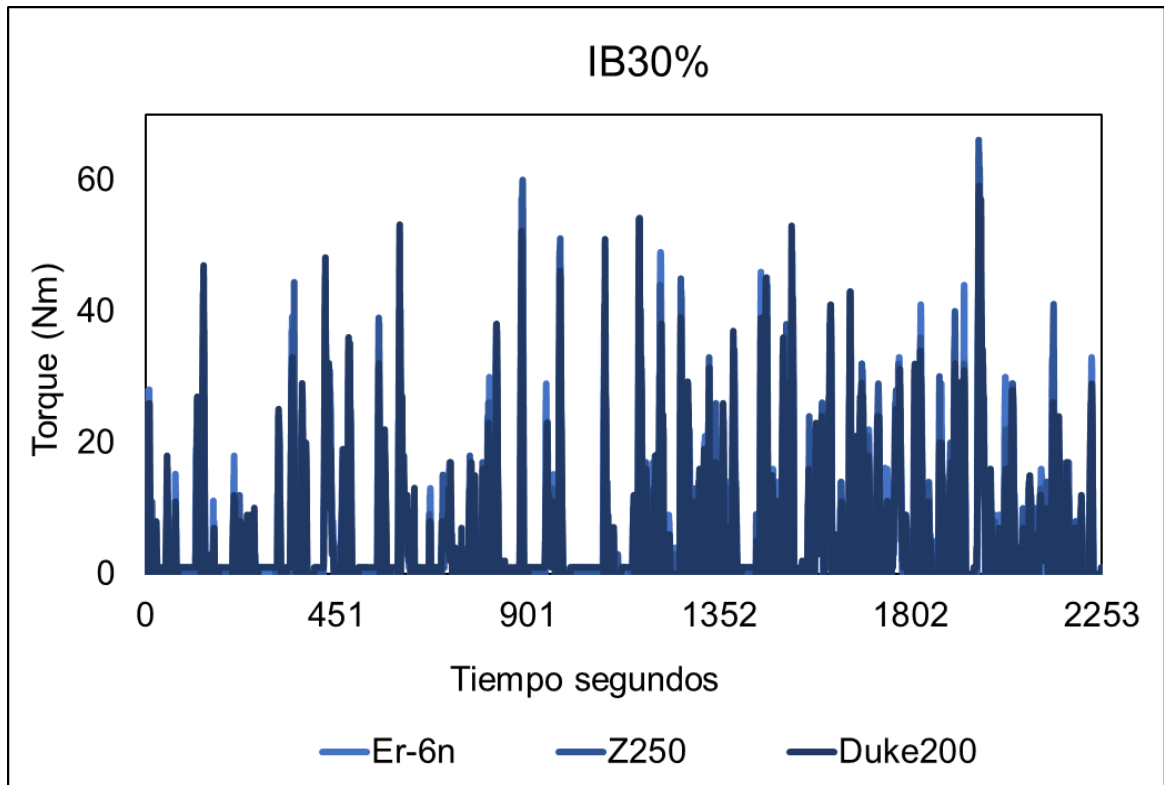
Dado lo anterior, este rendimiento puede deducirse porque la mezcla con 20% de isobutanol provee más oxígeno, esto favorece a los motores que logran una combustión eficiente y que responden ágilmente al acelerar. En este sentido, la Duke 200 y la Z250 se acondicionan mejor a esta mezcla, debido al sistema de inyección y la estructura del motor. Por otro lado, la Er-6n proporciona un comportamiento más mesurado con este componente de alcohol. Por último, en esta figura se evidencia que el torque no solo obedece a la configuración del motor, sino además la capacidad de beneficiarse de un combustible con más oxígeno.

Figura 3-50. Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 20%)

En la Figura 3-51, correspondiente a la mezcla con 30% de isobutanol, se observa nuevamente un comportamiento donde sobresalen los picos de torque de la Z250 y la Duke200. Las máximas entregas fueron cercanas a 57 Nm para la Er-6n, 66 Nm para la Z250 y 59 Nm para la Duke200. Aunque la Er-6n presenta algunos picos destacados, su curva permanece menos pronunciada en comparación con las otras dos motocicletas. Con un 30% de isobutanol, el combustible se vuelve más oxigenado y de menor poder energético por ciclo, lo que reduce ligeramente el torque disponible en motores de mayor cilindrada.

Sin embargo, motores más pequeños como la Duke200 y la Z250 logran una atomización más eficiente del combustible alcoholizado, lo que permite mantener picos altos de torque durante gran parte del ciclo. En esta gráfica también se aprecia un comportamiento más uniforme y una mayor repetición de picos altos en estas dos motocicletas, reflejando su mejor adaptación a mezclas elevadas de alcohol.

Figura 3-51. Torque durante el ciclo AMVA – Mezcla (IB 30%)



Conclusiones y recomendaciones.

Al realizar todo el trabajo de investigación se analizó con base de las tres motocicletas trabajadas de inyección electrónica en los dinamómetros, resultados con los que se realizaron pruebas de perdidas potencia, estacionarias y dinámicas, utilizando mezclas de gasolina con isobutanol reflejando una serie conclusiones importantes las cuales comprenden análisis de resultados de los equipos utilizados para evaluar su comportamiento, eficiencia, potencia, torque y análisis de resultados ambiental con las emisiones de gases contaminantes.

- Se realizo todo el procedimiento para llegar a una comparativa de resultados de dos dinamómetros con referencias distintas los cuales se determinó que después de hallar el área de bajo de la curva de las gráficas potencia vs tiempo y torque vs tiempo se evidencio la perdida de potencia y la diferencia en el rendimiento por factores como los rodillos del dinamómetro, inercia y el sistema de transmisión. Con lo desarrollado de este trabajo se muestra el procedimiento y formulación de la metodología para previos estudios donde beneficien aquellas microempresas o empresas que cuentan con este tipo de dinamómetros los cuales están fabricados para el análisis de automóviles, facilitando la implementación de estos equipos para evaluar y trabajar con motocicletas siguiendo todos los parámetros empleados en el primer objetivo de este trabajo.

- El análisis de resultados de las pruebas estacionarias permitió que el enfoque del segundo objetivo de este trabajo determinara en términos de emisiones de gases y en beneficios comprobados con mezclas de isobutanol con gasolina, comportamientos de la potencia, torque, HC%, CO%yCO₂. Estos resultados muestran como influyen dependiendo de cada porcentaje de mezcla en el motor y la respuesta de potencia y toque. Estos resultados evidencian que las pérdidas de potencia y torque no son significativas con valores altos que afecten el rendimiento del motor. Para las emisiones se refleja la reducción de monóxido de carbono e hidrocarburos mayormente en las mezclas del 20% y 30%, lo que ratifica el beneficio de utilizar isobutanol en mezclas con gasolina, con la garantía de una combustión más eficaz en condiciones de carga constante.

- Pruebas dinámicas en las cuales se desarrollaron por medio del ciclo de conducción AMVA con mezclas de isobutanol al 10%, 20% y 30% para evaluar la respuesta de cada motocicleta y emisiones contaminantes. El tercer objetivo de este trabajo se evaluó el comportamiento real simulando en condiciones urbanas del área metropolitana del valle de aburra, condiciones bajo desaceleración, aceleración y velocidad en las que se puede dar como resultados distintas condiciones de trabajo del motor. Las mezclas de isobutanol mostraron una reducción de CO y HC comparando a los resultados en general con solo gasolina sin afectar la respuesta del motor en las pruebas realizadas. Se debe encontrar que según el tipo de motocicleta y de la cilindrada con firmeza que la implementación del isobutanol con gasolina es viable en condiciones reales lo que no solo beneficia al rendimiento del motor sino también aporta beneficios ambientales en los que es comprometedor como es la salud de las personas.

Al desarrollar cada uno de los objetivos propuestos en el trabajo de investigación o trabajo de grado se confirma que la metodología empleada aporta y deja abierto el camino para futuras investigaciones relacionadas al uso de combustibles y a la optimización en dinamómetros fabricados especialmente para automóviles los cuales se pueden emplear para motocicletas.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la metodología y los resultados se evidencio una disminución de los HC, CO y CO₂ por que se recomienda futuras pruebas entre el 15% y al 25% para identificar la mezcla exacta en la que mejor actúa el subutanol. Para que el análisis sea más completo utilizar equipos para medir el NO_x, medir emisiones antes y después del catalizador y temperatura, permitiendo comparar las transformaciones de las condiciones de cada mezcla de isubutanol.

Finalmente se recomienda con base a este trabajo tener futuras investigaciones para semilleros y trabajos que establezcan objetivos de programación de ECU para controlar el suministro de combustible en la cámara de combustión, suministro necesario y requerido por la motocicleta. Mejorando las emisiones contaminantes para el medio ambiente, el rendimiento del motor, la eficiencia y el consumo de combustible.

Bibliografía

- Agarwal, R. A., Agarwal, A. K., Lee, C. S., & Cho, H. M. (2017). Alcohol fuels and their combustion characteristics in spark ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 61, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.02.001>
- Agudelo Santamaría, J. R., Agudelo Santamaría, A. F., Moreno Sánchez, R., Cardeño López, F., López García, A. F., Hincapié García, Ó. D., Saldarriaga, J., & Melo, F. G. (2019). Factores de emisión de fuentes móviles en el Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Libro-Factores-de-Emision-AMVA.pdf>
- Boluda, C. J., Macías, M., & Marrero, J. G. (2019). La complejidad química de las gasolinas de automoción. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 2(2), 51-79. <https://doi.org/10.22206/cyap.2019.v2i2.pp51-79>
- Díaz, C. A. (2020). Variación en las emisiones contaminantes de los vehículos debido a cambios en la geometría vial en carreteras de Colombia (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia). Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78581>
- Dynojet Research, Inc. (2022, marzo 5). *Model 200i/250i DynoWare RT Motorcycle Dynamometer — Illustrated Parts List* [Manual en PDF]. <https://www.dynojet.com/amfile/file/download/file/6781/category/247/>
- Duque Pulido, C. A. (2025, 3 de octubre). Industria de las motocicletas, factor estratégico para el desarrollo de la región. La República. <https://www.larepublica.co/especiales/la-ruta-del-valle-por-la-sostenibilidad/industria-de-las-motocicletas-factor-estrategico-para-el-desarrollo-de-la-region-4238841>
- Duy, V. N., Duc, K. N., Cong, D. N., Xa, H. N., & Le Anh, T. (2019). Estudio experimental sobre la mejora del rendimiento y las características de emisiones de motocicletas usadas alimentadas con etanol mediante un sistema de transferencia de calor de gases de escape. *Energy for Sustainable Development*, 51, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.04.003>

Federación Nacional de Comerciantes. (2025, octubre). Informe de motocicletas a septiembre de 2025. <https://www.fenalco.com.co/blog/noticias-10/informe-de-motocicletas-a-septiembre-de-2025-8435>



SC 7134-1



SA-CER901605



Acreditados en Alta Calidad. Resolución 012512 del MEN. 29 de junio de 2022 - 6 años.

Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador

Apartado aéreo: 6564 / Línea única de atención: +57 (604) 448 0520



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Fenalco & ANDI. (2024, abril). Boletín Informe de motocicletas – abril de 2024. [https://andi.com.co/Uploads/04.%20Informe%20MOTOCICLETAS_ANDI-FENALCO_Abril2024%20\(1\)_638505936858787613.pdf](https://andi.com.co/Uploads/04.%20Informe%20MOTOCICLETAS_ANDI-FENALCO_Abril2024%20(1)_638505936858787613.pdf)

Franco Burgos, A. L. (2021). Evaluación de los factores de conducción eficiente en vehículos particulares y su relación con la carga contaminante proveniente del consumo de combustible (Trabajo de grado). Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/items/46a923ae-8050-43b4-9ac8-63ac2a2a41a4>

García Blandón, J. (2025, 13 de octubre). En Colombia se venden 2,4 motos cada minuto. El Colombiano. <https://www.elcolombiano.com/negocios/motocicletas-colombia-ventas-record-OG29947779>

Gómez Rueda, J. A., Delgado Mejía, A. F., Vanegas Metaute, D., Delgado Mejía, Á., Álvarez, B., & Estrada Cifuentes, R. S. (2025). Optimización del uso de la energía en el transporte y su impacto en la calidad del aire: estimación de emisiones en el parque automotor de Medellín. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 1-10. <https://doi.org/10.26507/paper.4268>

Habermehl, C., Jacobs, G., & Neumann, S. (2020). Un método de modelado para la eficiencia de la transmisión de engranajes en condiciones de operación transitorias. *Mechanism and Machine Theory*, 153, 103996. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X20302172>

Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed., pp. 142–144). McGraw-Hill.

Kawasaki Motors. (s.f.). *ER-6n* 2014. <https://www.kawasaki.es/es/products/archive/Sports/2014/ER-6n/overview?Uid=05D7WlhZW1laWFpaWlIfWV9fUV5fX1FGDRtFLTs>

Llanes Cedeño, E. A., Quezada Vélez, S., & Faulkner, S. (2022). *Evaluación de emisiones contaminantes de un motor de encendido provocado utilizando mezcla gasolina-etanol mediante el protocolo IM-240*. Repositorio UISEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4826>

Marino Guerrero, Ó. (2024, 15 de mayo). *Diagnóstico estático y dinámico a motores eléctricos*. Transequipos. <https://transequipos.com/diagnostico-estatico-y-dinamico-a-motores-electricos/>

Martyr, A. J., & Rogers, D. R. (2021). Dynamometers: The measurement and control of torque, speed, and power. En A. J. Martyr & D. R. Rogers (Eds.), *Engine testing* (5.ª ed., pp. 235–263). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821226-4.00009-7>

MotorcycleSpecs.co.za. (2013). *Kawasaki Z 250*.
https://www.motorcyclespecs.co.za/model/kawasaki/kawasaki_z%20250%2013.htm

Motofichas.com. (2021, enero 12). *KTM Duke 200*.
<https://www.motofichas.com/marcas/ktm/duke-200>

Observatorio Ambiental de Bogotá. (2021). Motos, el golpe bajo a la sostenibilidad. Ambiente Bogotá. <https://oab.ambientebogota.gov.co/motos-el-golpe-bajo-a-la-sostenibilidad/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022, 19 de diciembre). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. [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)

Pereira Rocha, E. D. (2024). Consolidación de la base de datos de factores de emisión y consumo de combustible del sector de transporte terrestre carretero en Colombia: tosanálisis del efecto de la altitud y de la tecnología (Trabajo de grado, Universidad de Antioquia). Repositorio Universidad de Antioquia. <https://hdl.handle.net/10495/42710>

Registro Único Nacional de Tránsito [RUNT]. (2024, 26 de diciembre). Boletín de prensa 005 de 2024: El parque automotor de Colombia sigue creciendo — casi 20 millones de vehículos registrados [Boletín de prensa]. <https://www.runt.gov.co/sites/default/files/Bolet%C3%ADn%20de%20Prensa%20005%20de%202024.pdf>

Román Barrera, J. S. (2024). Conversión de una motocicleta de combustión interna a motocicleta eléctrica plug-in manteniendo la cadena de cinemática original para facilitar la adaptación del sistema y reducir las emisiones contaminantes emitidas en el Distrito Metropolitano de Quito (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27077>

Rueda Velásquez, J. A. (2022). *Inventario de emisiones atmosféricas para el programa de manejo y control de emisiones de fuente fija y móvil de la Universidad EAFIT* [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/c5b04a9f-0265-410a-9859-cd591844334f>

Salazar-Serna, K. (2025). Evaluación de políticas para el sector de motocicletas [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88210>

Sánchez Ramírez, L. F. (2024). *Puesta a punto de la sala de ensayos del banco dinamométrico de rodillos de motocicletas del Laboratorio de Máquinas Térmicas* (Trabajo de grado de pregrado) [Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstreams/d4647f55-b245-4cf5-b51c-390368d3078e/download>

Santa Santa, L. H., & Henao Gil, J. A. (2019). *Análisis del manejo ambiental sostenible de la movilidad en Medellín 2014-2018*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Sayas Valero, S. (2019). Desarrollo de catalizadores heterogéneos para la producción sostenible de hidrógeno a partir del reformado de subproductos y residuos derivados de la biomasa [Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/115482>

Serna Cartagena, J. F. (2023). Desarrollo de un ciclo de conducción característico de las motocicletas del Valle de Aburrá [Tesis de pregrado, Institución Universitaria Pascual Bravo]. Repositorio Institucional Pascual Bravo. <https://repositorio.pascualbravo.edu.co>

Serna Cartagena, J. F. (2024). *Informe de pruebas de laboratorio en UdeA, Medellín – Antioquia*. Institución Universitaria Pascual Bravo.

Smith, G. M. (2024, 3 diciembre). Guía completa sobre dinamómetros: Tipos, usos y beneficios. Soluciones de Adquisición de Datos (DAQ). <https://dewesoft.com/es/blog/guia-de-dinamometros>

Soto Vargas, H. (2022). Evaluación de la exposición a contaminantes del aire para usuarios de diferentes modos de transporte en el área urbana de la ciudad de Bogotá, Colombia [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Uniandes. <https://hdl.handle.net/1992/55157>

Tsai, J. H., Ko, Y. L., Huang, C. M., & Chiang, H. L. (2019). Efectos de la mezcla de etanol con gasolina en el rendimiento de los catalizadores de motocicletas y las emisiones de contaminantes atmosféricos. *Aerosol and Air Quality Research*, 19(12), 2781–2792. <https://aaqr.org/articles/aaqr-19-10-0a-0539>

Turns, S. R. (2017). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Yang, Y., Ni, C., Jiang, M., & Chen, Q. (2021). Urban air pollution contributes from motorcycle fleets in developing countries: A review. *Atmospheric Environment*, 262, 118647. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118647>

Zhao, H., & Harrington, P. (2016). *Fundamentals of modern SI engine combustion* (Vol. 2). Woodhead Publishing.

Andersen, V. F., Anderson, J. E., & Wallington, T. J. (2010). Distillation curves for alcohol-gasoline blends. *Energy & Fuels*, 24(4), 2286–2293.