



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON MENCIÓN EN NEGOCIOS AUTOMOTRICES

RPC-SO-36-NO.825-2021

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA  
CONCENTRACIÓN DE ETANOL EN  
COMBUSTIBLES DE 82 Y 92 OCTANOS  
PARA REDUCIR EMISIONES DE GASES  
CONTAMINANTES: PRUEBAS EN VACÍO  
Y CARGA EN UN VEHÍCULO DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE 2000 CC

AUTOR:

CRISTOPHER VINICIO SANISACA BRITO

DIRECTOR:

WILLIAM GIOVANNY QUITIAQUEZ SARZOSA

CUENCA – ECUADOR  
2025

**Autor:****Cristopher Vinicio Sanisaca Brito**

Ingeniero Automotriz.

Candidato a Magíster en Ingeniería Automotriz con  
Mención en Negocios Automotrices por la Universidad  
Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

cristo17999@gmail.com

**Dirigido por:****William Giovanni Quitiaquez Sarzosa**

Ingeniero Mecánico.

Doctor en Ingeniería.

wquitiaquez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

CRISTOPHER VINICIO SANISACA BRITO

Análisis de los efectos de la concentración de etanol en combustibles de 82 y 92 octanos para reducir emisiones de gases contaminantes: pruebas en vacío y carga en un vehículo de combustión interna de 2000 CC

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado a toda mi familia, por brindarme todo el apoyo para poder conseguir esta meta personal y profesional, que además es el reflejo de la educación y dedicación aportada hacia mi persona.

Además, con énfasis, a mi pareja Rosanna Vargas y a mi hija Caroline Sanisaca, que son el motor para seguir adelante y no darme por vencido, y que esta dedicatoria les sirva de fortaleza e inspiración para lograr todo lo que se propongan.

Y, por último, a mi gran amigo Freddy Ochoa (+), quien fue un gran apoyo durante toda la carrera de grado, dejando esa inspiración de seguir adelante a pesar de las dificultades que ponga la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento a todos los docentes que brindaron sus conocimientos para salir adelante con este programa de maestría, a los compañeros que de una forma u otra compartimos en las aulas, y de manera especial al Dr. William Quitiaquez por su apoyo y mentoría para la realización de este trabajo de titulación.

# TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	9
Abstract .....	10
1. Introducción .....	11
2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	18
2.1 Unidad experimental .....	18
2.2 Combustibles .....	19
2.3 Diseño experimental.....	20
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
3.1 Parámetros iniciales .....	24
3.2 Pruebas en vacío.....	27
3.2.1 Análisis del combustible G <sub>82</sub> E <sub>0</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>10</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>20</sub> y G <sub>82</sub> E <sub>30</sub> .....	27
3.2.1.1 Monóxido de carbono (CO) .....	27
3.2.1.2 Dióxido de carbono .....	29
3.2.1.3 Hidrocarburos no combustionados (HC) .....	30
3.2.1.4 Oxígeno (O <sub>2</sub> ) .....	32
3.2.1.5 Resumen comparativo del comportamiento de las emisiones con los combustibles G <sub>82</sub> E <sub>0</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>10</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>20</sub> y G <sub>82</sub> E <sub>30</sub> , bajo la condición de pruebas en vacío .....	33
3.2.2 Análisis del combustible G <sub>92</sub> E <sub>0</sub> , G <sub>92</sub> E <sub>10</sub> , G <sub>92</sub> E <sub>20</sub> y G <sub>92</sub> E <sub>30</sub> .....	34
3.2.2.1 Monóxido de carbono (CO) .....	34
3.2.2.2 Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	35
3.2.2.3 Hidrocarburos no combustionados (HC) .....	37
3.2.2.4 Oxígeno.....	38
3.2.2.5 Resumen comparativo del comportamiento de las emisiones con los combustibles G <sub>92</sub> E <sub>0</sub> , G <sub>92</sub> E <sub>10</sub> , G <sub>92</sub> E <sub>20</sub> y G <sub>92</sub> E <sub>30</sub> , bajo la condición de pruebas en vacío .....	40
3.3 Pruebas a carga.....	40
3.3.1 Análisis del combustible G <sub>82</sub> E <sub>0</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>10</sub> , G <sub>82</sub> E <sub>20</sub> y G <sub>82</sub> E <sub>30</sub> .....	41
3.3.1.1 Monóxido de carbono (CO) .....	41
3.3.1.2 Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	42
3.3.1.3 Hidrocarburos no combustionados (HC) .....	43
3.3.1.4 Oxígeno.....	44

3.3.1.5 Resumen comparativo del comportamiento de las emisiones con los combustibles $G_{82}E_{10}$ , $G_{82}E_{20}$ y $G_{82}E_{30}$ , bajo la condición de pruebas en carga.....	45
3.3.2 Análisis del combustible $G_{92}E_0$ , $G_{92}E_{10}$ , $G_{92}E_{20}$ y $G_{92}E_{30}$ .....	46
3.3.2.1 Monóxido de carbono (CO) .....	46
3.3.2.2 Dióxido de carbono .....	47
3.3.2.3 Hidrocarburos no combustionados .....	48
3.3.2.4 Oxígeno.....	49
3.3.2.5 Resumen comparativo del comportamiento de las emisiones con los combustibles $G_{82}E_{10}$ , $G_{82}E_{20}$ y $G_{82}E_{30}$ , bajo la condición de pruebas en carga.....	50
4. Conclusiones.....	52
Referencias .....	55

ANÁLISIS DE LOS  
EFECTOS DE LA  
CONCENTRACIÓN DE  
ETANOL EN  
COMBUSTIBLES DE 82 Y  
92 OCTANOS PARA  
REDUCIR EMISIONES  
DE GASES  
CONTAMINANTES:  
PRUEBAS EN VACÍO Y  
CARGA EN UN  
VEHÍCULO DE

# COMBUSTIÓN INTERNA DE 2000 CC

AUTOR:

CRISTOPHER VINICIO SANISACA BRITO

## RESUMEN

En la presente investigación se analiza el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes de un motor de 2000 cc, teniendo como principal factor de estudio la variación de la concentración de etanol en los combustibles, contando con concentraciones del 10, 20 y 30 %, aplicados en combustibles bases que cuentan con RON de 82 y 92 octanos, mediante dos pruebas: la primera prueba en vacío, según la normativa NTE INEN 2204:2017; y la segunda prueba a carga, mediante el uso de un banco dinamométrico, en condiciones de baja, media y alta velocidad. Se formularon seis combustibles siendo  $G_{82}E_{10}$ ,  $G_{82}E_{20}$ ,  $G_{82}E_{30}$ ,  $G_{92}E_{10}$ ,  $G_{92}E_{20}$  y  $G_{92}E_{30}$ , que, a través de un análisis de laboratorio de la UPS se determinó que mejoran sus niveles de RON contando con valores de 91.9, 93.7, 94.1, 93.1, 94.4 y 95.3 respectivamente. Las pruebas en vacío dan como resultados que las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> se redujeron en un 16.6 y 2 % con el empleo del combustible  $G_{82}E_{30}$ , mientras que, el combustible  $G_{92}E_{30}$  redujo las emisiones de CO en un 78.82 %, además se obtuvo que el comportamiento de las emisiones de HC van en manera descendente conforme aumenta la concentración de etanol, obteniendo reducciones del 32.30, 46.15 y 50.76 %, correspondientes a los combustibles  $G_{92}E_{10}$ ,  $G_{92}E_{20}$  y  $G_{92}E_{30}$ . Por otro lado, las pruebas en carga determinan que el combustible  $G_{82}E_{20}$  presentan la mayor fuerza tractora con 2219.6 N, y con el combustible  $G_{82}E_{10}$  presenta la potencia máxima, con un valor de 30.89 kW, además se logra determinar que la configuración con el combustible  $G_{92}E_{20}$  con una velocidad de 60 km/h y en 3<sup>era</sup> marcha, se obtiene la menor cantidad de emisiones con 0.02, 14.82 y 0.47 %vol., correspondiente a CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, y 7 ppm para HC.

**Palabras clave:**

Combustible, Etanol, Emisiones, Contaminantes, Carbono, RON.

## ABSTRACT

In This research analyzes the behavior of pollutant gas emissions from a 2000 cc engine, focusing primarily on the variation in ethanol concentration in fuels, with concentrations of 10, 20, and 30 % applied to base fuels with RON of 82 and 92 octane, using two tests: the first test under no load, in accordance with standard NTE INEN 2204:2017; and the second test under load, using a dynamometer, under low, medium, and high speed conditions. Six fuels were formulated: G<sub>82</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>82</sub>E<sub>20</sub>, G<sub>82</sub>E<sub>30</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> and G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>. Through laboratory analysis by UPS, it was determined that these fuels improve RON levels, with values of 91.9, 93.7, 94.1, 93.1, 94.4, and 95.3, respectively. The idle tests showed that CO and CO<sub>2</sub> emissions were reduced by 16.6 and 2 % with the use of G<sub>82</sub>E<sub>30</sub> fuel, while G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> fuel reduced CO emissions by 78.82 %. In addition, it was found that HC emissions decrease as the ethanol concentration increases, with reductions of 32.30, 46.15, and 50.76 % for G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> and G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> fuels, respectively. On the other hand, load tests determined that the G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> fuel had the highest tractive force with 2219.6 N, and the G<sub>82</sub>E<sub>10</sub> fuel had the maximum power with a value of 30.89 kW. It was also determined that the configuration with the G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> fuel at a speed of 60 km/h and in third gear produces the lowest emissions with 0.02, 14.82, and 0.47 %vol. for CO, CO<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub>, respectively, and 7 ppm for HC.

**Keywords:**

Fuel, Ethanol, Emissions, Pollutants, Carbon, RON.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La cuestión crucial que el campo automotor debe resolver en la actualidad es el deterioro ambiental resultante de la emanación de gases contaminantes resultantes de la combustión de combustibles fósiles. Por lo tanto, nace la necesidad de encontrar alternativas funcionales para el reemplazo de dichos combustibles no renovables y que cumplan con el aspecto y el enfoque centrado en la descarbonización del ambiente, pero sin comprometer al rendimiento de los vehículos automotores, en esta investigación el motivo de estudio es la implementación de concentraciones de etanol en los combustibles. A continuación, se presentan investigaciones que tiene directa relación al tema de investigación, y cumplen la función de antecedentes y puntos de partida para el desarrollo del tema.

Hosseini et al. [1] llevaron a cabo un análisis numérico y experimental sobre los efectos del empleo de una mezcla de bencina y etanol en la eficiencia y las emisiones en motor iraní bicombustible. Para lograr el objetivo propuesto, examinaron cuatro diferentes mezclas de gasolina y etanol, E<sub>0</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>10</sub> y E<sub>15</sub>, en el motor EF7. Llegando a obtener que la concentración de etanol E<sub>15</sub> presenta una producción más alta de potencia y a su vez obteniendo la mayor disminución de emanaciones de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no combustionados (HC) en comparación con la gasolina sin ninguna mezcla, siendo 23.46 y 44.04 % menor, respectivamente. Sin embargo, se produce un efecto contrario con respecto a las emanaciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), obteniendo un aumento significativo del 16.03 y 29.93 %, respectivamente.

Zhou et al. [2] realizaron un estudio sobre el uso de la gasolina en mezcla con el etanol y sobre el control de las emisiones. Este planteamiento nace a partir de la evaluación de modelos centrados en tres diferentes escenarios, el primer caso se centra en la concentración de etanol en el combustible, el segundo se basa en la aplicación de controles de emisiones y el último una combinatoria de los dos modelos anteriores. A través de modelo WRF-CMAQ lograron evaluar los cambios

en las concentraciones del particulado  $PM_{2.5}$  y ozono ( $O_3$ ), llegando a determinar que la mezcla de gasolina y etanol  $E_{10}$  representa un aumento en la concentración de  $O_3$ , de un 0.1 a 0.2 %, mientras que, la aplicación del control de emisiones se redujo entre un 1.9 y 2.5 % en la concentración, sin embargo, en el tercer escenario se obtiene una reducción entre 1.7 y 2.3 %, pero con una reducción entre 3 y 4 veces mayor en el particulado  $PM_{2.5}$ .

Ismail et al. [3] presentan un estudio de la producción de los principales gases de emisiones generados por la combustión,  $NO_x$ , CO,  $CO_2$  y HC, y de los parámetros de rendimientos, tal es el caso de la eficiencia térmica, eficiencia volumétrica y el consumo específico del combustible en los frenos, conforme al empleo de las diferentes concentraciones de la gasolina con el etanol,  $E_{20}$ ,  $E_{50}$  y  $E_{75}$ , evaluado en un motor con un cilindraje de 1600 cc turboalimentado. Llegando a obtener que la mezcla  $E_{75}$  presenta un aumento en la eficiencia en el consumo específico de combustible de freno (BSFC) y eficiencia volumétrica de 6.59 y 4.5 %, respectivamente, además, al aumentar la concentración de etanol se produce una mitigación de las emisiones de gases de efecto nocivo, siendo un 21.74 % en contraparte con el combustible sin la adición de etanol.

El efecto de la concentración de etanol sobre motores de alta relación de compresión, en referencia a las emisiones, son un paradigma poco presentado. Dentro del campo de desarrollo, Liu et al. [4] efectuaron un análisis experimental sobre las emisiones y características de la combustión en un motor de encendido por chispa de alto grado de compresión con el empleo de mezclas de gasolina y etanol en diversas concentraciones. Llegaron a la conclusión que la adición de etanol permite una mayor estabilidad en la detonación, en comparativa con la gasolina pura, la mezcla  $E_{100}$  presenta un aumento en la presión media efectiva indicada (IMEP) entre un 6.3 y 15.1 % y para la eficiencia térmica indicada (ITE) el aumento se encuentra entre un 6.8 y 9.1 %, mientras que, las emisiones de CO se reducen en 3 g/kW·h cuando se utiliza una mezcla  $E_{100}$  con respecto a la gasolina pura.

El estudio de los factores económicos que representan las mezclas de los combustibles con el etanol son presentados por Wu et al. [5]. Los autores realizaron pruebas en nueve vehículos con diferentes características, con la variación del combustible empleado, siendo dos tipos de mezclas con grado E<sub>10</sub>, el primero formulado por etanol con bajo contenido de compuestos aromáticos (ELA) y el segundo formulado por etanol con bajo contenido de olefinas (ELO) y mediante un banco dinamométrico de chasis evaluaron las emisiones bajo el ciclo de conducción WLTC, llegando a obtener que el uso de E<sub>10</sub> ELA reduce en un 3 % las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que, el uso de la mezcla E<sub>10</sub> ELO reduce el consumo del comburente en un 3 % y el gasto energético en un 5 %.

El desarrollo de nuevos estudios sobre el empleo del etanol en el combustible es presentado por Kaya [6] en donde efectuó el estudio experimental sobre las características de la combustión, el rendimiento y las emisiones de escape en un motor uniflow de dos tiempos. Se realizaron ensayos experimentales con composiciones de bencina y etanol que van desde un 10 hasta un 50 %. Obteniendo como resultados que la eficiencia energética disminuye con el aumento de la concentración de etanol, sin embargo, las emisiones de gases contaminantes disminuyeron, en concentraciones de 10, 30 y 50 %.

Myung et al. [7] plantearon el estudio de las emisiones reguladas y particulado de los combustibles mezclados con etanol en ciclos de conducción urbanos y rurales en Corea, se realizó en un banco dinamométrico de chasis con el ciclo urbano congestionado (NIER03) y rural (NIER09), y el empleo de combustibles E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>30</sub>, E<sub>50</sub> y E<sub>85</sub>. Teniendo como resultados que las emisiones de particulado en el combustible E<sub>10</sub> aumentó en un 287 y 158 % en comparativa con el combustible E<sub>0</sub>, las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron un 50 % más bajas en el ciclo NIER09 que en el ciclo NIER03. Además en la investigación presentada por Frutuoso et al. [8] evaluaron las emisiones en vehículos ligeros de combustibles flexibles con el uso de mezclas de etanol y gasolina. La investigación evalúa el impacto en las emisiones en este tipo de vehículos a través de la propuesta del uso de vía en corredores de Bus Rapid Transit (BRT) con tráfico mixto, además de una comparativa con el empleo de ciclos

de conducción estandarizados, obteniendo que las emisiones de CO<sub>2</sub> se mantienen estables a la variación de la concentración de etanol, en el caso del CO las emisiones con el combustible E<sub>85</sub> es superior en 0.3 g/km que el combustible sin etanol, en el caso del NO<sub>x</sub> el combustible E100 representa la mayor emisión del mismo con 0.003 g/km.

Liang et al. [9] realizaron un estudio en referencia a la influencia de la excelencia del aire y la salud por el uso de combustibles de gasolina mezclados con etanol en China. A través del modelo de simulación CMQA, los autores lograron obtener como resultados que las emisiones de NO<sub>x</sub> aumentaron en un 8 % con el combustible ELA y una reducción en un 3 % con el combustible ELO, mientras que, en las emisiones de particulado se presenta lo contrario, alcanzando un valor de 0.1 y 0.2 µgm<sup>-3</sup>, respectivamente. En la misma línea de tendencia con el estudio del impacto del uso de etanol en la formación de ozono, Zhang et al. [10] estudiaron los agentes fundamentales en la generación de ozono, siendo los compuestos orgánicos volátiles (COV), los valores de reactividad específica (SR) y los valores del potencial de formación de ozono (OFP), mediante la utilización de cuatro combustibles E<sub>10</sub> y la utilización del ciclo de conducción WLTC, obteniendo que las emisiones de COV se encuentran en un rango de 14.6 a 26.2 mg/km con combustible E<sub>0</sub>, mientras que, el rango con el combustible E<sub>10</sub> es de 4.2 a 156.9 mg/km, siendo este mucho mayor, lo mismo ocurre con los valores de OFP siendo 85 a 183 y 47 a 818 mgO<sub>3</sub>/km, respectivamente.

Cao et al. [11] en su investigación evaluaron los impactos de los combustibles mezclados con etanol y las bajas temperaturas en las emisiones de COV en vehículos a gasolina. El proceso de obtención de datos lo realizaron a partir de la variación de cinco mezclas de combustibles con base en el combustible E<sub>10</sub>, utilizando dos métodos de mezcla por salpicadura y combinada, y efectuados a través del ciclo de manejo armonizado mundial (WLTC). Obteniendo que, las mezclas por salpicadura reducen las emisiones de COV entre un 12 y 75 %, sin embargo, la operación a baja temperatura presenta un aumento en las emisiones de COV entre un 300 y 2600 % en todos los tipos de mezclas de combustibles. Una vía para mitigar las liberaciones

de gases nocivos en arranque en frío es presentada en la investigación desarrollada por Monteiro y Sodré [12] la cual consiste en alimentar al motor con aire de admisión y combustible con etanol calentados, siendo los mismos calentados a través de resistencias eléctricas y evaluados a través del ciclo de conducción FTP-75, los resultados indican una reducción de las emanaciones brutas de HC, CO y NO<sub>x</sub> en un 14.0, 7.0 y 3.3 %, respectivamente, mientras que, en el convertidor catalítico se redujo las emisiones de HC y CO en un 67.3 y 79.3 % y como reducción global luego del proceso catalítico obtuvieron valores en HC, CO y NO<sub>x</sub> del 19.7, 17.3 y 18.9 %, respectivamente.

Policarpo et al. [13] centraron su estudio en estimaciones para vehículos de carretera de combustible flexible que trabajan con mezclas de etanol y gasolina aplicados en una región urbana. Las emisiones de CO fueron similares, en excepción del combustible E<sub>85</sub>, cuyas emisiones fueron 100 veces menores, además registraron emisiones de HC menores a 0.005 g/km. En complemento a la investigación, Dardiotis et al. [14] añaden que en vehículos de combustible flexible el rango de operación en temperaturas climáticas variadas afecta en gran medida a las emisiones, siendo que a 22  C se produce una reducción en las emisiones de CO entre un 2.5 y 8 %, sin embargo, se produce un aumento considerable de NO<sub>x</sub> aumentando en 2.5 veces, mientras que, a -7  C el aumento es de solo 1.5 veces.

Wang y Cheng [15] estudiaron las emisiones de gases de calentamiento global que implica el comercio de etanol como combustible entre Estados Unidos y China, evaluando desde el pozo hasta la rueda. A través de una comparativa entre la producción local, que nace de cinco fuentes de obtención de etanol: maíz, yuca, dulce sorgo, rastrojos de maíz y mazorcas de maíz, se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son de 54 a 234 gCO<sub>2e</sub>/MJ, mientras que, la importación representaría una disminución de 34.21 gCO<sub>2e</sub>/MJ. Del mismo modo Jhang et al. [16] en su investigación reafirma la premisa que el uso de etanol en mezclas con gasolina permite reducir en un 0.859 % las emisiones de GEI, sin embargo, si se toma como aditivo al hidrógeno, se podría reducir en un 6.95 %, debido a que, en la evaluación del pozo a la rueda, del pozo al tanque representa

22.3 % de las emisiones de GEI. Del mismo modo Milovanoff et al. [17] presentan el caso de las implicaciones de las emisiones de GEI en una flota de vehículos livianos en Canadá, reforzando que las emisiones de GEI se podrían reducir en un 7.2 % en 2030 mediante las mezclas de combustibles y etanol, además añade que el alto octanaje del etanol representa en un 30 % la reducción de emisiones de GEI.

Qiu et al. [18] plantean el caso que a través del uso de etanol en mezcla con el combustible reduciría el consumo de gasolina. A través de regulaciones, con un porcentaje máximo del 10 % de etanol en la gasolina convencional, el valor del etanol aumentaría, sin embargo, si se maneja un combustible E<sub>85</sub>, el mismo se reduciría por una menor oferta. No obstante, las medidas políticas no solo tienen el enfoque en la economía, tal como señalan Zhang et al. [19] el uso de etanol se debe enfocar desde una estrategia para salvaguardar la accesibilidad de la energía y la contaminación ambiental, tal como los resultados obtenidos el índice de la calidad del aire reduciría en 9.71 unidades, además se contempla una reducción en las concentraciones de CO y NO<sub>x</sub> de 0.14 mg/m<sup>3</sup> y 2.17 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Por consiguiente, Abdellatif et al. [20] proponen en la consigna de la formulación de mezclas renovables de etanol y gasolina, destacando principalmente en formulaciones basados en fracciones de hidrocarburos de bajo octanaje.

En la Tabla 1 se presentan investigaciones que tienen mayor repercusión en el trabajo de investigación, centrándose en los efectos de las diversas concentraciones de etanol en los combustibles en contra parte a las emisiones de gases contaminantes, además se hace énfasis en los países que más aportan para el desarrollo e implementación del etanol.

**Tabla 1.** Investigaciones desarrolladas bajo la premisa del empleo de etanol con gasolinas

	Hosseini et al. [1]	Jhang et al. [16]	Policarpo et al. [13]	Cao et al. [11]	Kaya [6]
Etanol	X	X	X	X	X
Consumo específico		X			
HC	X		X		X
CO	X		X		X
CO <sub>2</sub>	X		X		X
NO <sub>x</sub>	X		X		X
GEI		X	X		
Eficiencia térmica				X	X
Ciclos de manejo		x		X	
País	Irán	Brasil	China	China	Turquía
Año	2023	2018	2018	2024	2022

El presente estudio tiene el enfoque en la variación de las emisiones de gases contaminantes en un vehículo de 2000 cc, a través del uso de diversos combustibles en mezcla de variaciones de concentración de etanol, obteniendo las siguientes mezclas: E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>, con los combustibles de 82 y 92 octanos. Los resultados obtenidos de las corridas experimentales se evalúan con la finalidad de obtener los valores mínimos de emisiones en los siguientes gases: HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, mediante dos pruebas, la primera se considera una prueba en vacío a diferentes revoluciones del vehículo, mientras que, la segunda es una a carga, en donde las pruebas son realizadas en un banco dinamométrico.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Las metodologías empleadas en el desarrollo del tema de investigación consisten en dos, la primera se aplica una metodología experimental mediante la cual se genera la oportunidad en la obtención de datos, y la segunda parte se aplica una metodología analítica con la cual se analizan los datos recolectados con el fin de obtener la mejor configuración.

En la Figura 1 se expone el esquema de flujo que representa el planteamiento, desarrollo y análisis del proyecto, además se incluye los procesos de obtención de información y finalización.

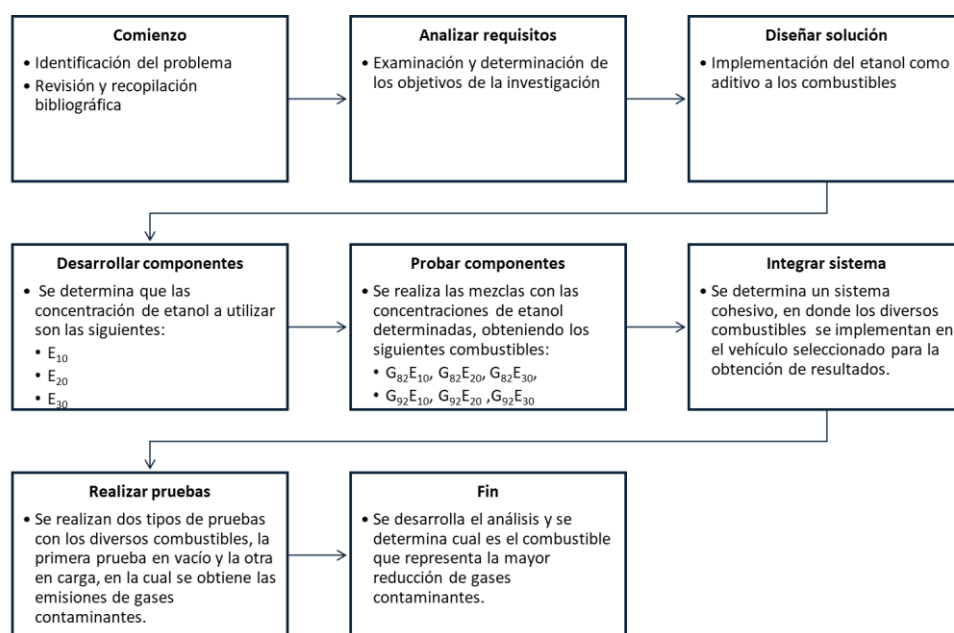


Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación

### 2.1 UNIDAD EXPERIMENTAL

El campo automotor de Ecuador cuenta con un número total de vehículos de 3005691, de los cuales 2624253, que representan el 87.30 %, son vehículos livianos o de uso particular [21], y mediante extensión, aproximadamente el 83 % de vehículos utilizan gasolina como medio de combustible, tanto la gasolina de 82

como la de 92 octanos. Por lo tanto, se puede apreciar una predominancia por estos vehículos, además de la estructura completamente establecidas así mismo por políticas de subsidios.

La unidad o aparato de experimentación que se emplea para la realización de las pruebas es un vehículo utilitario deportivo, con un motor 4 en línea con un cilindraje de 2000 cc, con un origen de procedencia surcoreana, que representa el 19.7 % de ventas totales de vehículos en Ecuador hasta septiembre del 2024, expresado en la revista Sector Automotor en cifras [21]. En la Tabla 2 se presenta las características del vehículo seleccionado, representado por sus datos técnicos y sus especificaciones puntuales.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de la unidad experimental

<b>Datos técnicos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Potencia máxima	141	CV
Revoluciones de potencia máxima	6000	rpm
Par máximo	184	Nm
Revoluciones de par máximo	4500	rpm
Cantidad de cilindros	4	-
Distribución de cilindros	Lineal	-
Cilindraje	1975	cc
Relación de compresión	10.1:1	-
Numero de válvulas	16	-
Velocidad máxima	179	km/h
Aceleración 0 – 100 km/h	10.4	s
Peso	1542	kg

## 2.2 COMBUSTIBLES

Las gasolinas que son comercializadas en el territorio ecuatoriano se dividen en dos, el primer combustible que cuenta con 87 octanos (Ecopais), que presenta una formulación del 95 % de gasolina extra y un 5 % de bioetanol, y el segundo que cuenta con 92 octanos (Súper), además, para su comercialización se rigen bajo la norma NTE INEN 935:2015, la cual expresa los requisitos de los productos derivados

del petróleo, en específico de la gasolina, por consiguiente, en la Tabla 3 [22], se presentan los requerimientos que deben cumplir los combustibles.

**Tabla 3.** Requisitos que cumple el combustible de 87 octanos

Requisitos	Método de ensayo	Valor	Unidad
Número de octano	NTE INEN 2102	87	-
Punto final	ASTM D86	220	°C
Presión de vapor	ASTM D323	60	kPa
Estabilidad a la oxidación	ASTM D525	240	min
Contenido de oxígeno	ASTM D4815	2.7	%

Otro aspecto por considerar son las propiedades del aditivo que se va a implementar, en este caso el etanol, en principio, el etanol es un alcohol que en su constitución química contiene 2 átomos de carbono, definida por la siguiente formulación química:  $C_2H_5OH$ , en el mismo sentido que las gasolinas empleadas, los requisitos para el empleo del etanol viene descrito en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2478:2009, en adición, se aprecia la clasificación del etanol anhidro como carburante y carburante desnaturalizado, que los cumplen la funcionalidad como mezcla con combustibles fósiles, sin embargo, presentan la diferencia ya que el último se agrega una sustancia desnaturalizante para hacer inapropiado al consumo humano [23]. En la Tabla 4 se presenta la composición del etanol empleado para el desarrollo del diseño experimental, además el mismo presenta una densidad de  $0.8111 \text{ g/cm}^3$  a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

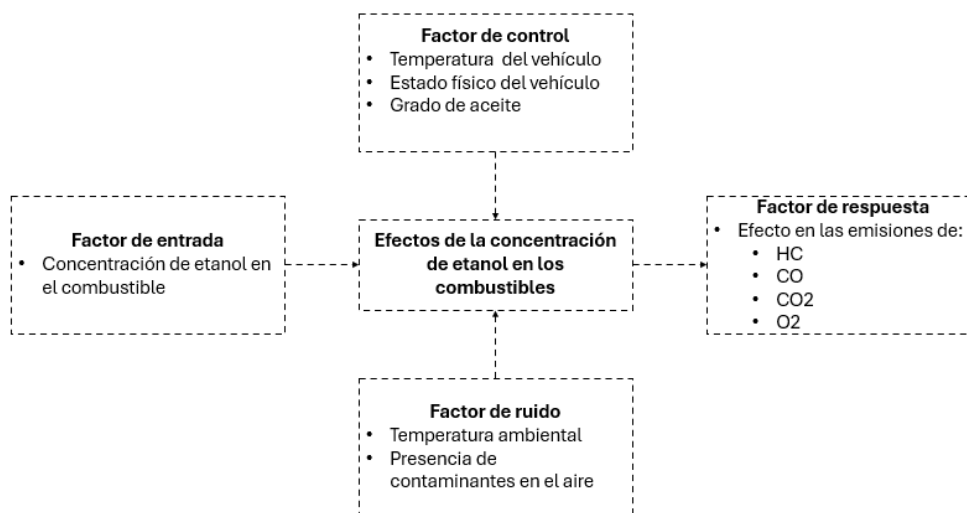
**Tabla 4.** Composición química del etanol empleado como aditivo

Componente	Volumen (%)	Masa (%)
Metanol	1.16 %	1.14 %
Agua	5.17 %	6.42 %
Desnaturalizante	0 %	0 %
Etanol	93.7 %	92.4 %

### 2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El planteamiento del estudio es la influencia de diversas concentraciones de etanol en dos tipos de combustibles, siendo el primero con un valor de octanaje de 82, mientras que, el segundo tipo de combustible maneja un octanaje de 92 (valores reales de octanaje). El diseño experimental, como concepto, consiste en la variación

de un factor o variable de entrada y como la misma repercute en un factor de salida, para el caso de estudio, en la Figura 2 se representa el esquema de factores que están implicados en el diseño experimental:



**Figura 2.** Diagrama de factores que involucran al diseño experimental

Con base en el desarrollo teórico, para el caso de estudio, se plantea el uso de tres concentraciones de etanol, manejando concentraciones del 10, 20 y 30 %, por consiguiente, se formula los siguientes combustibles con las concentraciones respectivas, teniendo en cuenta que la formulación se basa en que 1000 ml de combustible representa el 100 %, además, a través de un análisis de laboratorio de logra determinar la composición y características principales del combustible deseado, esto presentado en la Tabla 5 y 6:

**Tabla 5.** Composición y características principales para los combustibles  $G_{82}E_{10}$ ,  $G_{82}E_{20}$  y  $G_{82}E_{30}$

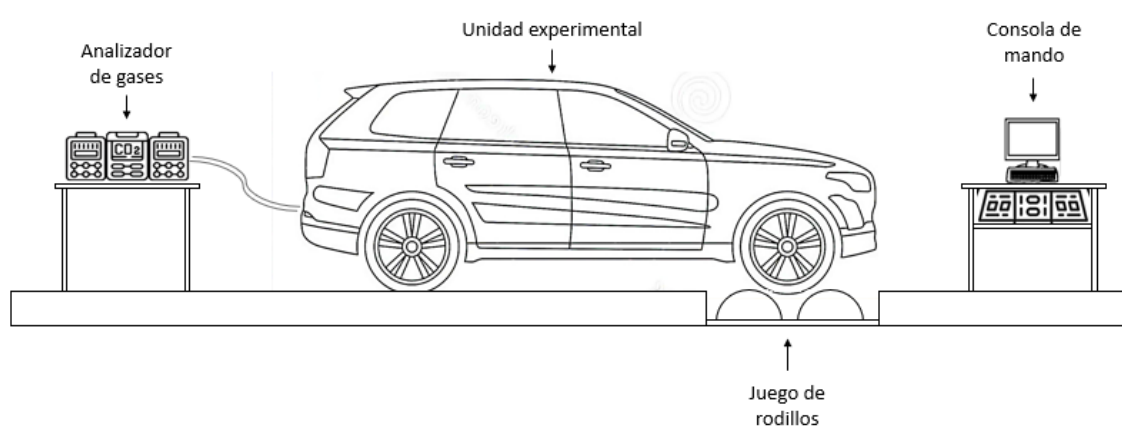
	$G_{82}E_{10}$	$G_{82}E_{20}$	$G_{82}E_{30}$	Unidad
Benceno	0.40	0.46	0.40	%
Tolueno	5.29	4.52	4.22	%
Propilbenceno	2.29	1.49	0.78	%
Etanol	10.8	21.7	33.7	%
Compuestos oxigenados	15	21.9	33.7	%
Compuestos aromáticos	19.8	20.4	19.2	%
Compuestos saturados	59.2	53.2	43	%
Densidad	0.7498	0.7542	0.7619	g/cm <sup>3</sup>
Octanaje de investigación (RON)	91.9	93.7	94.1	-
Octanaje del motor (MON)	85.2	87	87.8	-
Índice antidetonante (AKI)	88.5	90.4	91	-
Punto de ebullición inicial (IBP)	45.2	46.2	49.7	°C

Punto de ebullición final (FBP)	204.9	207.1	206.4	°C
---------------------------------	-------	-------	-------	----

**Tabla 6.** Composición y características principales para los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>

	G <sub>92</sub> E <sub>10</sub>	G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	G <sub>92</sub> E <sub>30</sub>	Unidad
Benceno	0.54	0.46	0.39	%
Tolueno	10.4	9.75	8.86	%
Propilbenceno	1.53	1.38	1.05	%
Etanol	10.6	19.6	32.1	%
Compuestos oxigenados	11.0	20.1	32.1	%
Compuestos aromáticos	28.6	26.8	24.9	%
Compuestos saturados	54.7	48.4	38.8	%
Densidad	0.7587	0.7681	0.7733	g/cm <sup>3</sup>
Octanaje de investigación (RON)	93.1	94.4	95.3	-
Octanaje del motor (MON)	85.2	86.0	87.5	-
Índice antidetonante (AKI)	89.2	90.2	91.4	-
Punto de ebullición inicial (IBP)	34.2	42.8	46.9	°C
Punto de ebullición final (FBP)	196.2	196.9	198.1	°C

Para el desarrollo del experimento, tal como se muestra en la Figura 3, se empleó un banco dinamométrico MAHA LP 3000, que en referencia a la norma ISO 17359:2018, muestra las gráficas características del motor, tal es el caso del torque y de la potencia, además, se hace referencia a la aplicación de ciclos de conducción para la obtención de tomas de datos, a través de la instrumentación de juegos de rodillos con un control central, que muestra las rpm, velocidad y potencia del vehículo.



**Figura 3.** Configuración del diseño experimental, equipos de medición y unidad experimental

Mientras que, la obtención de datos de las emisiones de gases se los realiza a través del instrumento de medición de la marca Brain Bee modelo AGS-688, el cual toma

muestras de las emisiones de gases a través de una sonda. En la Tabla 7 se presentan las especificaciones de los equipos empleados para el sondeo y muestra de datos.

**Tabla 7.** Características y detalles técnicos de los equipos seleccionados para la obtención de datos

Característica	Símbolo	Rango	Unidad
Monóxido de carbono	CO	0 – 9.9	% vol.
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0 – 19.9	% vol.
Hidrocarburos no combustionados	HC	0 – 9990	Ppm
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0 – 24.9	% vol.
Óxidos nitrosos	NO <sub>x</sub>	0 – 4999	Ppm
Fuerza tractora	F	0 – 12000	N
Potencia	P	0 – 520	kW

Los valores de las emanaciones nocivas se obtiene a partir del analizador de gases, siendo las emisiones de HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, siendo registrados dentro de un rango de funcionamiento o giro del motor, ubicado entre las 800 rpm, que representan un funcionamiento en ralentí del motor y las 2500 rpm, catalogado como altas revoluciones, estos valores de funcionamientos nacen a partir de la NTE INEN 2204:2017 en donde se detallan las condiciones para las pruebas, además presenta los umbrales de emisiones correspondientes de los gases, tal como se expresa en la Tabla 8 [24].

**Tabla 8.** Límites de emisiones de CO y HC, referente a la norma NTE INEN 2204:2017

Año	% CO		ppm HC	
	0-1500 (msnm)	1500 -3000 (msnm)	0-1500 (msnm)	1500-3000 (msnm)
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

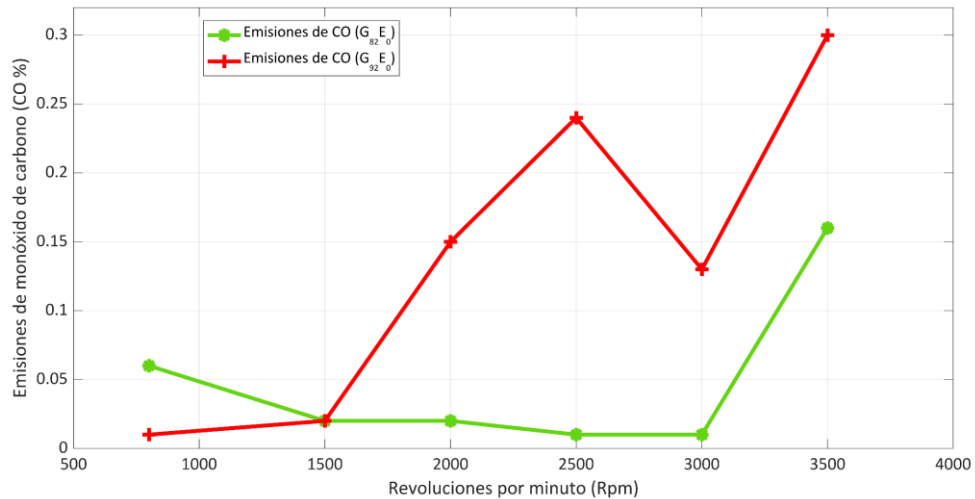
La unidad experimental seleccionada cuenta con un motor de explosión que opera con gasolina, para el funcionamiento diario ocupa el carburante de 82 octanos, y se toma como referencia y base para el análisis la cantidad de emisiones de los diversos gases de escape, siendo el combustible  $G_{82}E_0$  en una concentración del 100 % sin la adición de ninguna concentración de etanol, no obstante, para que el análisis cuente con un mayor aporte a la investigación, se opta por tomar una segunda referencia para la variación de emisiones, siendo la gasolina  $G_{92}E_0$  que cuenta con una concentración del 0 % de etanol, precisando si es viable la implementación del etanol como aditivo o en consecuencia, determinado si solo la variación de octanaje de los combustibles que se expenden libremente en el territorio es lo ideal, tomando la decisión que repercuta de mejor manera dentro los factores sociales, económicos y ambientales.

### 3.1 PARÁMETROS INICIALES

La obtención de los parámetros iniciales se da a partir de la aplicación de la normativa NTE INEN 2204:2017, teniendo en cuenta que el vehículo se encuentra en una posición de vacío o en reposo, y los datos son adquiridos a diferentes revoluciones partiendo desde las 800 hasta 3500 rpm, con el fin de obtener una gráfica que represente el comportamiento de las emisiones de los gases producidos por la combustión.

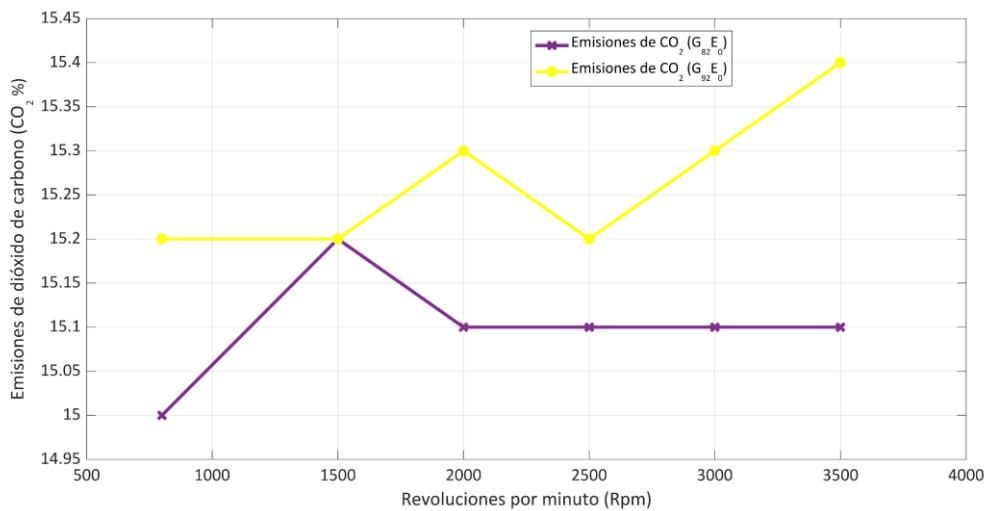
En la Figura 4 se representa las emisiones de CO, la gráfica de tonalidad verdosa representa las emisiones del combustible  $G_{82}E_0$ , mientras que, la gráfica de tonalidad rojiza representa las emisiones del combustible  $G_{92}E_0$ , se evidencia, que este último, las emisiones son considerablemente más altas si se comparan punto a punto, a excepción del valor a ralentí, teniendo puntos de interés a las 800 rpm en donde comienza con una emisión de 0.06 y 0.01 %vol., respectivamente, pero a medida que siguen las tomas, las dos graficas se separan completamente, siendo que el valor más alto tiene una diferencia del 200 %, representado en valores, las

emisiones de  $G_{82}E_0$  cuenta con un 0.15 %vol. mientras que las emisiones de  $G_{92}E_0$  son de 0.3 %vol.



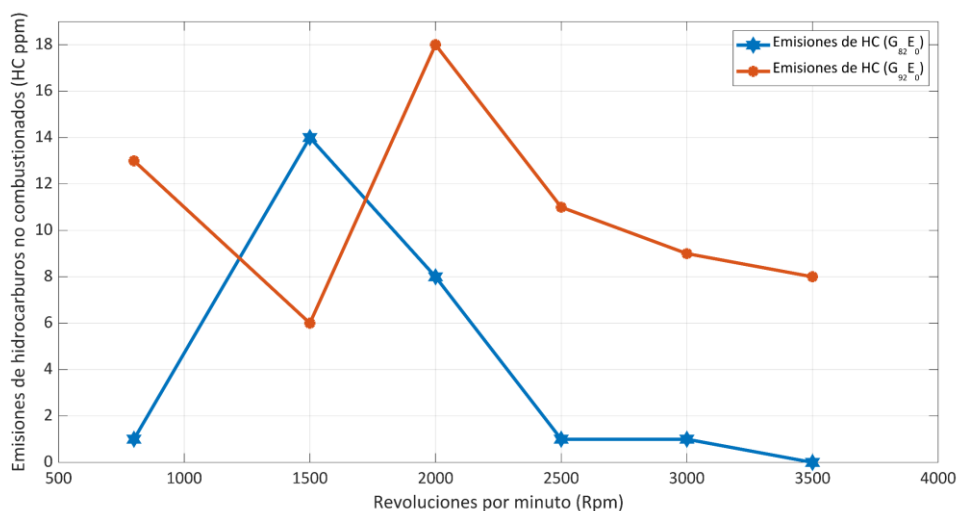
**Figura 4.** Parámetros iniciales de las emisiones de CO vs Rpm, para los combustibles  $G_{82}E_0$  y  $G_{92}E_0$

En la Figura 5 se representa el comportamiento de las emisiones de  $CO_2$  destacando que este valor representa que tan buena combustión se está realizando en el motor, a su vez se puede visualizar que presenta un crecimiento de 15 a 15.2 %vol. entre las 800 y 1500 rpm, pero se estabiliza en un valor de 15.1 %vol. en el resto de la toma de datos, con lo que respecta al combustible  $G_{82}E_0$ . Sin embargo, su contraparte presenta unos valores de emisiones más elevados, teniendo como un valor mínimo de 15.2 %vol. y se torna creciente hasta alcanzar un valor de 15.4 %vol., no obstante, desde un punto de vista energético este último presenta una mejor combustión, pero a costa de una mayor contaminación.



**Figura 5.** Parámetros iniciales de las emisiones de CO<sub>2</sub> vs Rpm, para los combustibles G<sub>82</sub>E<sub>0</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>

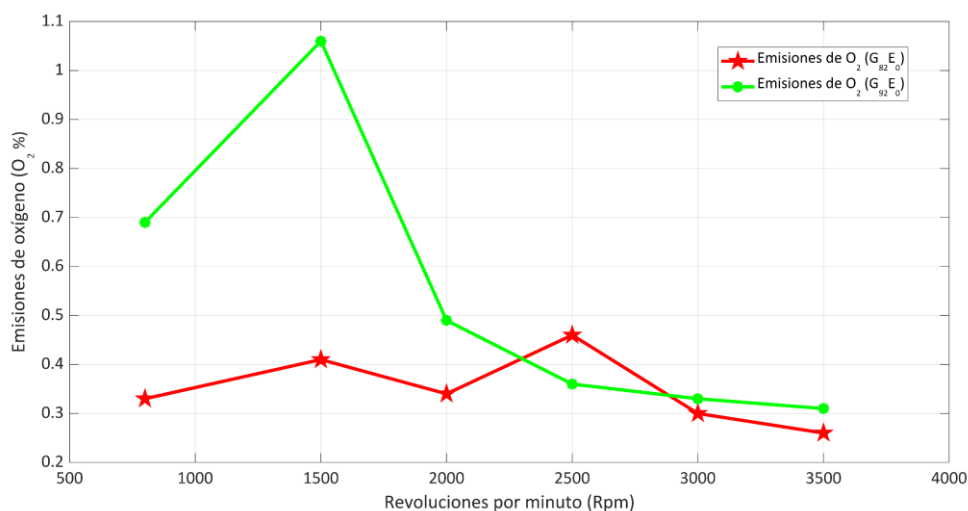
Las emisiones de los hidrocarburos no combustionados en el combustible G<sub>82</sub>E<sub>0</sub> presentan valores bajos teniendo como un valor mínimo de 0 ppm y un valor máximo 14 ppm, siendo valores totalmente aceptables en referencia a la normativa aplicada, que expresa un valor máximo de 250 ppm, dicho comportamiento se observa en la Figura 6, en contra parte el combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>, en su punto máximo es superior por 4 ppm.



**Figura 6.** Parámetros iniciales de las emisiones de HC vs Rpm, para los combustibles G<sub>82</sub>E<sub>0</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>

En la Figura 7 se presenta el comportamiento de las emisiones de O<sub>2</sub>, siendo que en este caso los valores bajos del combustible G<sub>82</sub>E<sub>0</sub> presentan una mezcla ligeramente

más rica que el combustible  $G_{92}E_0$ , teniendo a una emisión del 0 %vol. en ambos casos.



**Figura 7.** Parámetros iniciales de las emisiones de  $O_2$  vs Rpm, para los combustibles  $G_{82}E_0$  y  $G_{92}E_0$

En la Tabla 9 se expresa el compendio con los valores de los parámetros iniciales de los combustible  $G_{82}E_0$  y  $G_{92}E_0$ , con el fin de obtener una base para los análisis comparativos con las diversas mezclas con etanol, teniendo énfasis en la variación de estos.

**Tabla 9.** Resumen de los parámetros iniciales para los combustibles  $G_{82}E_0$  y  $G_{92}E_0$

Parámetro	Combustible				Unidad
	$G_{82}E_0$		$G_{92}E_0$		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
CO	0.01	0.16	0.01	0.3	% vol.
CO <sub>2</sub>	15	15.2	15.2	15.4	% vol.
HC	0	14	6	18	ppm
O <sub>2</sub>	0.26	0.46	0.31	1.06	% vol.

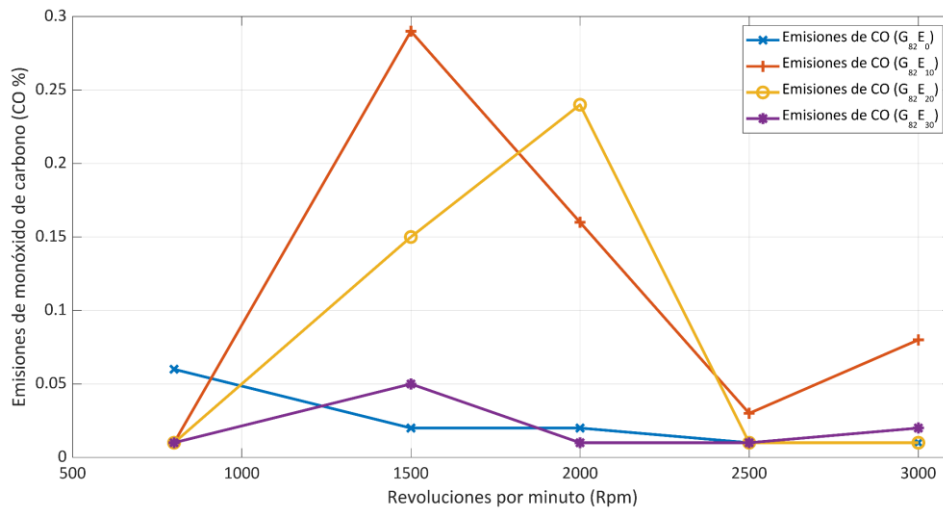
## 3.2 PRUEBAS EN VACÍO

### 3.2.1 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE $G_{82}E_0$ , $G_{82}E_{10}$ , $G_{82}E_{20}$ Y $G_{82}E_{30}$

#### 3.2.1.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Las emanaciones de monóxido de carbono es la consecuencia de una incompleta combustión procedente del proceso de trabajo del motor de combustión interna. En la Figura 8 se muestra la gráfica de las emisiones de monóxido de carbono en función de las revoluciones por minuto del motor; en la misma se presenta cuatro

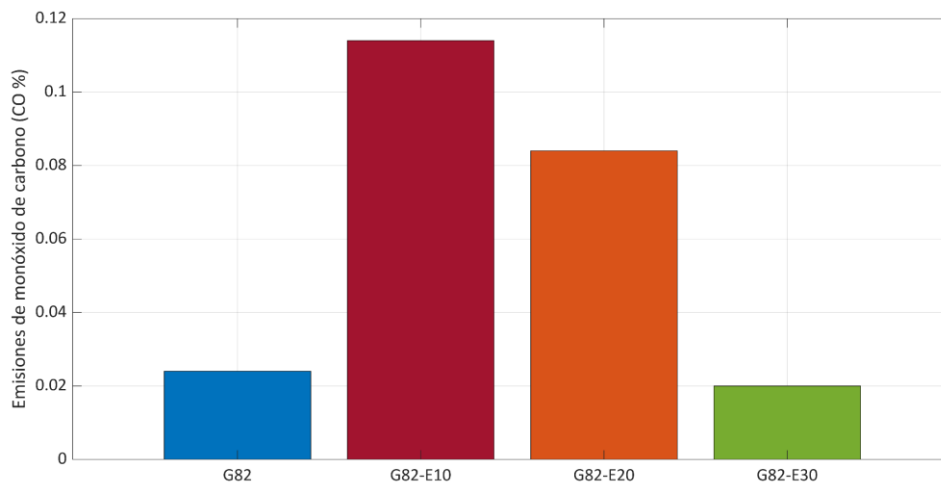
curvas que representan las emisiones bajo las diferentes configuraciones del combustible  $G_{82}$  con las mezclas de etanol.



**Figura 8.** Tendencia de las emisiones de CO con el combustible  $G_{82}$  y las concentraciones de etanol  $E_0$ ,  $E_{10}$ ,  $E_{20}$  y  $E_{30}$

A través de los parámetros iniciales, se puede definir la variación conforme se dé el aumento de la concentración de etanol, en donde se puede visualizar que las emisiones del combustible  $G_{82}E_{10}$  presentan el pico más elevado de todas las gráficas, con un valor de 0.29 %vol., un poco más abajo se encuentra el pico del combustible  $G_{82}E_{20}$ , contando con un valor de 0.24 %vol., sin embargo, las emisiones del combustible  $G_{82}E_{30}$  presentan un comportamiento más estable siendo que su rango de variación se encuentra entre el 0 y 0.05 %vol., destacando esta grafica por su baja emisión.

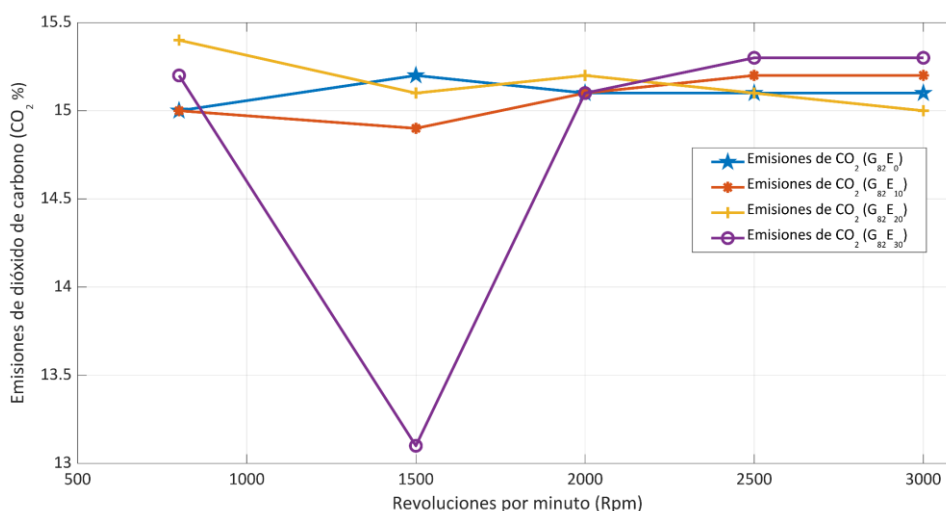
En la Figura 9, se presenta un esquema de barras en la cual se visualiza la cantidad de emisiones promedio que se obtuvo a través del diseño experimental, recalcando que se obtuvo una reducción del 16.6 % en las emisiones con el uso combustible  $G_{82}E_{30}$ , conforme se va reduciendo la cantidad de la concentración de etanol, las emisiones van en aumento, siendo que el combustible  $G_{82}E_{10}$  presenta la mayor cantidad con un valor de 0.114 %vol.



**Figura 9.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de CO con el combustible G<sub>82</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.1.2 DIÓXIDO DE CARBONO

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en el proceso de combustión, representan la eficiencia de dicho proceso, como regla general este valor debe ubicarse entre el 12 y el 15 %vol. En la Figura 10 se presenta la correlación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y las revoluciones por minuto del motor, del mismo modo, se presentan cuatro graficas que cada una representan las diferentes configuraciones con las concentraciones de etanol.

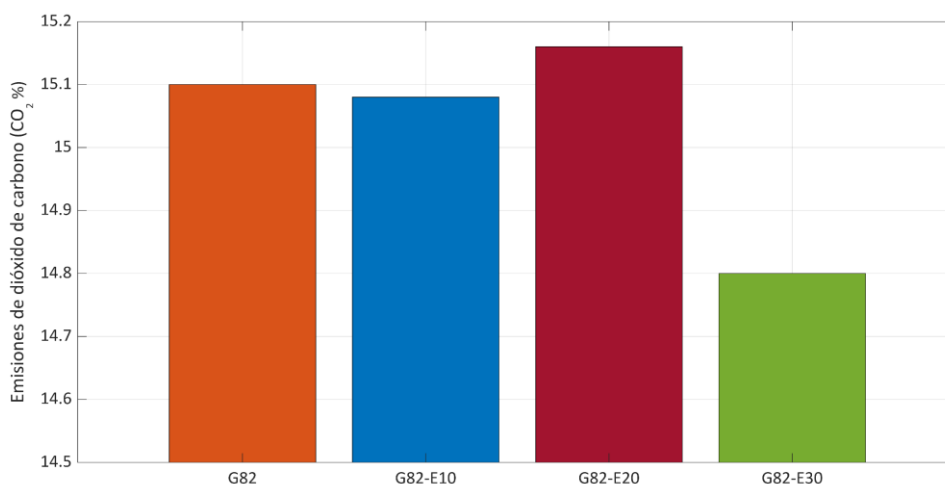


**Figura 10.** Tendencia de las emanaciones de CO<sub>2</sub> con el carburante G<sub>82</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

De manera general se observa que las líneas de tendencias apuntan a comportamientos similares, siendo que las emisiones de tienden a disminuir a bajas

revoluciones y se estabilizan a partir de 1750 rpm. Se destaca que las emisiones con el combustible G<sub>82</sub>E<sub>30</sub> presentan la mayor variabilidad y además cuenta con el punto más bajo, con un valor de 13.1 %vol., sin embargo, por su nivel de octanaje, el mismo vuelve a la línea de tendencia y termina con la mayor emisividad al final del muestreo, con un valor de 15.3 %vol., además, el combustible G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> comienza con las emisiones más altas contando con el 15.4 %vol. pero al final de su comportamiento, presenta el valor más bajo luego de su estabilización, contando con el 15 %vol.

En la Figura 11 se refleja el comportamiento de las emisiones promedio durante todo el muestro, se observa que a medida que se aumenta el etanol, como es el caso del combustible G<sub>82</sub>E<sub>10</sub>, presenta una ligera disminución, siendo la misma en un 0.13 %, sin embargo, esto no se puede tomar como línea de tendencia, ya que con el combustible G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> se encuentra la mayor emisividad, alcanzando un máximo de 15.16 %vol., teniendo un incremento del 0.39 %. Además, con el combustible G<sub>82</sub>E<sub>30</sub> demuestra una reducción considerable, registrando un valor de 14.8 %vol. y en comparación con el combustible base, este se reduce en un 2 %.

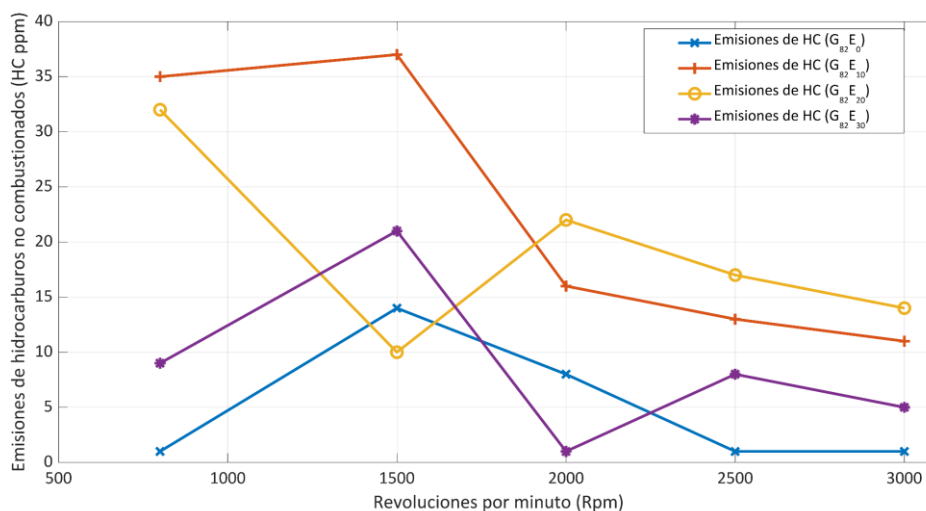


**Figura 11.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> con el combustible G<sub>82</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.1.3 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

Las emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) son el resultado de una ineficiente combustión dentro del proceso de trabajo del motor, en la Figura 12 se

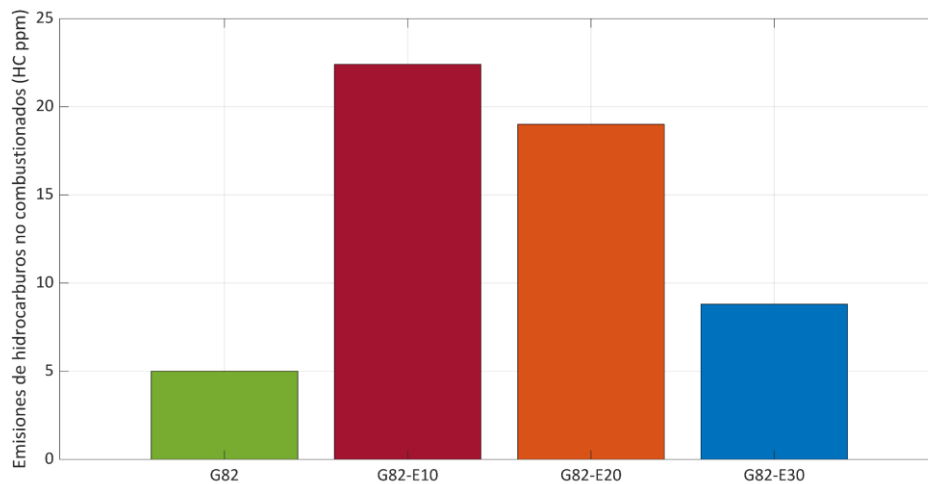
presenta el comportamiento de las emisiones con lo que respecta a cada configuración de la concentración de etanol con el combustible  $G_{82}$ .



**Figura 12.** Tendencia de las emisiones de HC con el combustible  $G_{82}$  y las concentraciones de etanol  $E_0$ ,  $E_{10}$ ,  $E_{20}$  y  $E_{30}$

Con base en los parámetros iniciales se puede discernir que presentan un comportamiento similar, teniendo un aumento de las emisiones de HC a bajas revoluciones y conforme se torna a las 2000 rpm, las mismas comienzan a descender, en el caso del combustible  $G_{82}E_{10}$ , presenta la mayor cantidad de emisiones que todas las configuraciones, tornándose poco beneficioso para la reducción ya que al final de su muestreo presenta una emisión 10 veces más que la gasolina base. A medida que va incrementando la cantidad de etanol la brecha de las emisiones a bajas revoluciones va descendiendo, para el caso del combustible  $G_{82}E_{30}$ , presenta un comportamiento más estable, casi similar al combustible base, contando con una emisiones de 5 ppm a altas revoluciones.

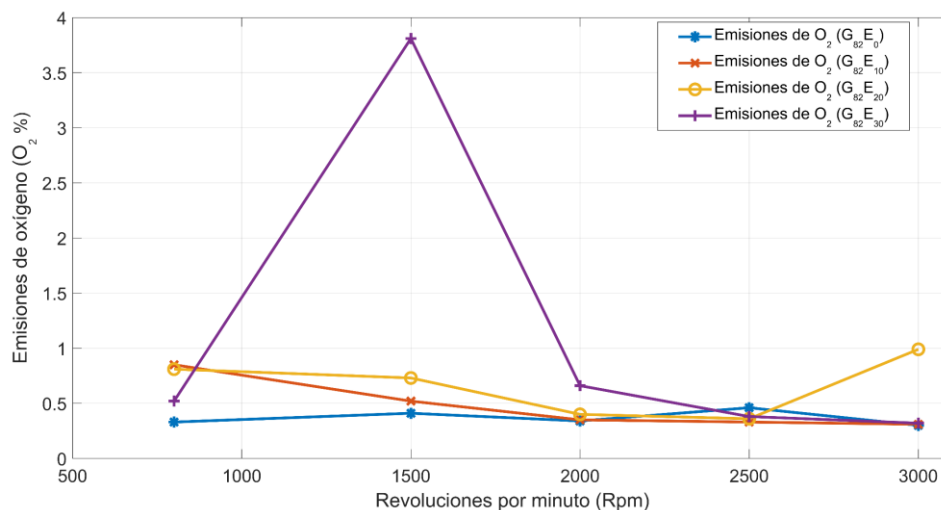
En la Figura 13 se presenta una comparación de las emisiones promedio a medida que se desarrolla el diseño experimental, en donde se observa que la menor cantidad de emisiones de HC se da en el combustible  $G_{82}E_0$ , contando con 5 ppm, siguiendo esta con el combustible  $G_{82}E_{30}$ , con un promedio de 8 ppm, y, por último, la mayor cantidad de emisiones se da con el combustible  $G_{82}E_{10}$  con 22.4 ppm.



**Figura 13.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de HC con el combustible G<sub>82</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.1.4 OXIGENO (O<sub>2</sub>)

Las emisiones de O<sub>2</sub> en el proceso de combustión son el resultado o el sobrante luego del trabajo del motor, se puede definir si este valor es alto es debido a una mezcla pobre, además este valor va relacionado de manera directa con las emisiones de CO, ya que son inversamente proporcionales. En la Figura 14 se presentan cuatro curvas que representan las emisiones de O<sub>2</sub> con las diversas concentraciones de etanol con base al combustible G<sub>82</sub>.

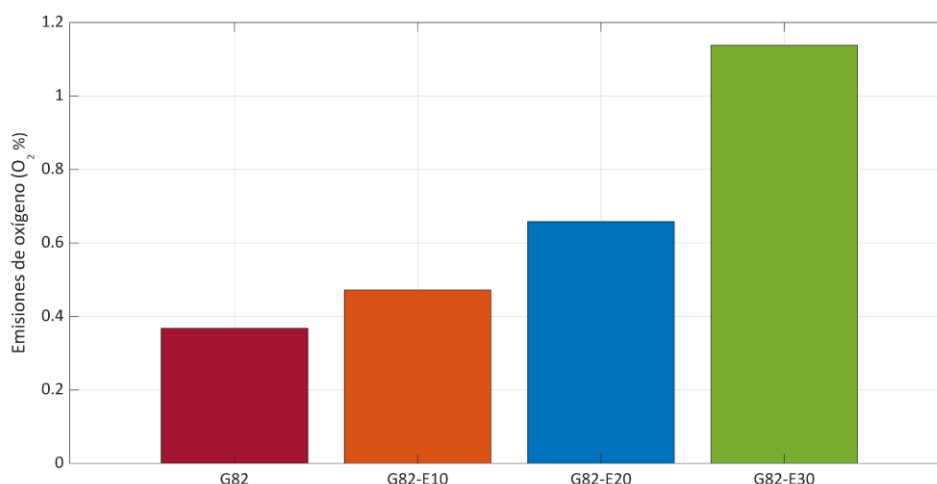


**Figura 14.** Tendencia de las emisiones de O<sub>2</sub> con el combustible G<sub>82</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

En la gráfica se puede llegar a visualizar que existe un proceder semejante en cuanto a las fluctuaciones de las tomas de datos, a excepción de las emisiones G<sub>82</sub>E<sub>30</sub>, en

donde se encuentra un pico máximo de 3.81 %vol., pero vuelve al comportamiento esperado al pasar la brecha de las 2000 rpm y disminuyen a 0.32 %vol. al final del muestreo, en este aspecto los combustibles  $G_{82}E_0$ ,  $G_{82}E_{10}$  y  $G_{82}E_{30}$  son prácticamente los mismos, ya que la variación es del 0.01 %vol. entre los mismos.

El comportamiento de las emisiones promedio a través del desarrollo del diseño experimental se observa en la Figura 15, la línea de tendencia indica que, a mayor concentración de etanol, las emisiones de  $O_2$  aumentan proporcionalmente, este comportamiento es el esperado debido a la alta concentración de este en el etanol, dichamente el combustible  $G_{82}E_{30}$  presenta un aumento considerable en las emisiones del 209 %.



**Figura 15.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de  $O_2$  con el combustible  $G_{82}$  y las concentraciones de etanol  $E_0$ ,  $E_{10}$ ,  $E_{20}$  y  $E_{30}$

### 3.2.1.5 RESUMEN COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES CON LOS COMBUSTIBLES $G_{82}E_0$ , $G_{82}E_{10}$ , $G_{82}E_{20}$ Y $G_{82}E_{30}$ , BAJO LA CONDICIÓN DE PRUEBAS EN VACÍO

En la Tabla 10 se presenta un resumen de las emisiones bajo las condiciones de las pruebas en vacío, con el empleo de los combustibles  $G_{82}E_0$ ,  $G_{82}E_{10}$ ,  $G_{82}E_{20}$  y  $G_{82}E_{30}$ , en donde se puede destacar que las emanaciones de CO se reducen en un 16.6 %, además, las emanaciones de  $CO_2$  se reducen en un 2 % con el empleo del combustible  $G_{82}E_{30}$ . En el caso de las emisiones de HC, el comportamiento expresa que se presenta un incremento de emisiones conforme se da la primera adición de etanol y el mismo va disminuyendo con las concentraciones de 20 y 30 %, sin

embargo, no es suficiente para alcanzar al combustible  $G_{82}E_0$ , ya que presentan un aumento de 17, 14 y 4 ppm, respectivamente. En el sentido de las emisiones de  $O_2$ , el comportamiento determina que a medida que se aumenta la concentración de etanol, las emisiones de este van a aumentar ya que se tiene más presencia de compuestos oxigenados en las mezclas.

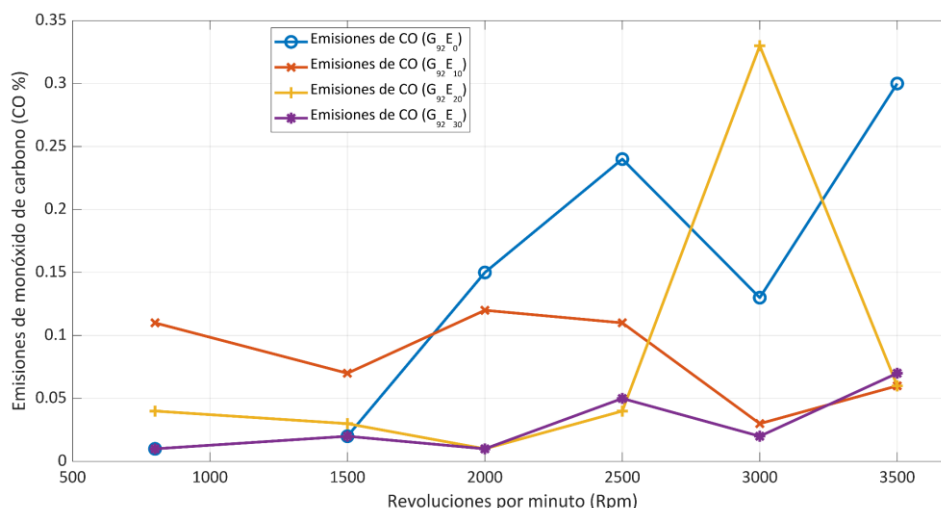
**Tabla 10.** Resumen de parámetros de emisiones y temperatura para los combustibles  $G_{82}E_0$ ,  $G_{82}E_{10}$ ,  $G_{82}E_{20}$  y  $G_{82}E_{30}$

Componente	$G_{82}E_0$		$G_{82}E_{10}$		$G_{82}E_{20}$		$G_{82}E_{30}$		Unidad
	min	max	min	max	min	max	min	max	
CO	0.01	0.06	0.01	0.29	0.01	0.24	0.01	0.05	%vol.
CO <sub>2</sub>	15	15.2	14.9	15.2	15	15.4	13.1	15.3	%vol.
HC	1	14	11	37	10	32	1	21	ppm
O <sub>2</sub>	0.3	0.46	0.031	0.85	0.36	0.99	0.32	3.81	%vol.
Temperatura	85.5	93	88.5	93.75	87.75	93	87	93	°C

### 3.2.2 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE $G_{92}E_0$ , $G_{92}E_{10}$ , $G_{92}E_{20}$ Y $G_{92}E_{30}$

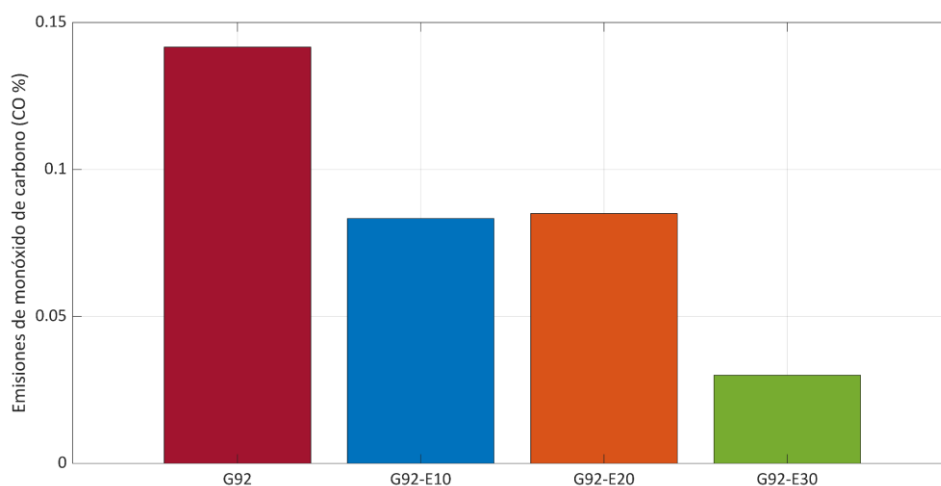
#### 3.2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la Figura 16 se presenta una comparación de las emisiones de CO en función de las revoluciones por minuto del motor, además se hace énfasis al uso del combustible  $G_{92}E_0$  como base, y a la misma se le añade las concentraciones de etanol en 10, 20 y 30 %. El combustible  $G_{92}E_{10}$  presenta un comportamiento estable, el mismo tiene una variación entre el 0.03 y el 0.12 %vol., teniendo su mayor rendimiento a altas revoluciones; por otro lado, el combustible  $G_{92}E_{20}$  presenta un comportamiento de emisiones bajas a bajas revoluciones, no obstante, a altas revoluciones, a partir de 2500 rpm se encuentra un pico con un valor de 0.33 %vol. y con una caída considerable a 3500 rpm con un valor nominal de 0.06 %vol. Con respecto al combustible  $G_{92}E_{30}$ , el mismo presenta el comportamiento más estable, con poca varianza en todo el rango de revoluciones analizadas, siendo el más eficiente en la reducción de emisiones de CO, dentro del rango de bajas revoluciones se mantiene por debajo del 0.03 %vol., mientras que, a altas revoluciones alcanza un pico máximo de 0.07 %vol.



**Figura 16.** Comportamiento de las emisiones de CO con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

A través de la Figura 17, se visualiza el promedio de las emisiones de CO en todo el rango de análisis, recalando que la adición de etanol en el combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub> reduce de manera significativa las emisiones de esta, en el caso del combustible G<sub>92</sub>E<sub>10</sub> ofrece una reducción del 41.17 %, en referencia al combustible G<sub>92</sub>E<sub>20</sub>, la reducción es de un 40 %, pero el mérito a la mayor reducción es para el combustible G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>, contando con una reducción total del 78.82 %.

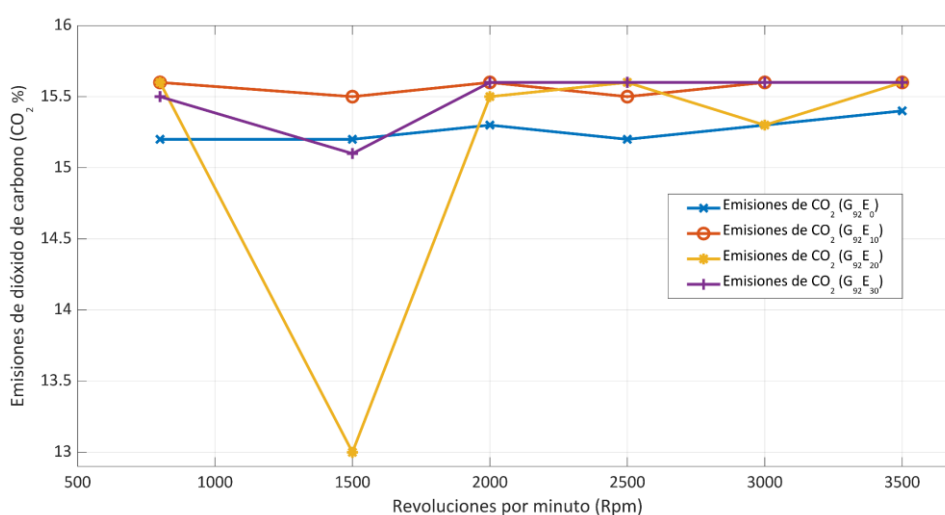


**Figura 17.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de CO con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.2.2 DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

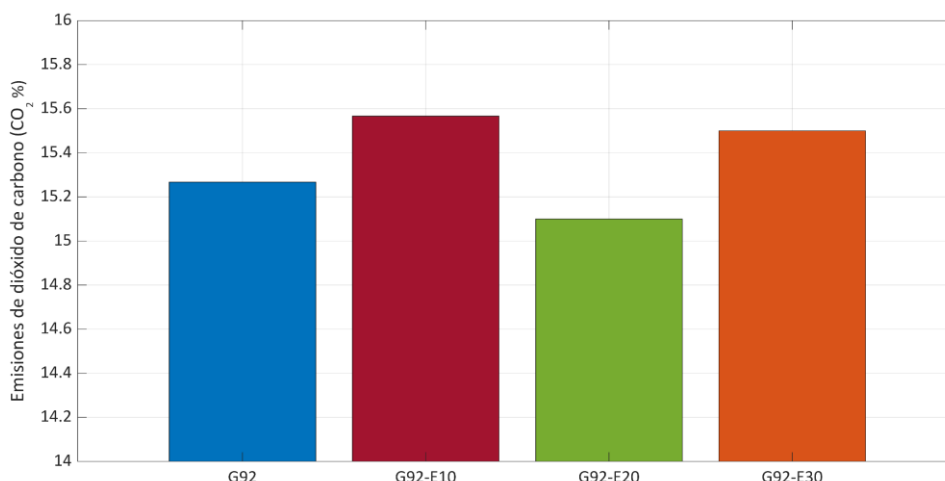
Las emanaciones de CO<sub>2</sub> del combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub> y sus diversas concentraciones de etanol se presentan en la Figura 18, el análisis se realiza en todo el rango de trabajo

del motor, abarcando desde 800 hasta 3500 rpm, se observa que el comportamiento es similar, a excepción del combustible  $G_{92}E_{20}$ , en donde se observa un pico de caída en las emisiones, la misma que desciende hasta el 13 %vol., sin embargo, vuelve a su comportamiento habitual cruzando el umbral de las 2000 rpm. En esta gráfica todos los combustibles con concentraciones de etanol superan al combustible base, esto es de esperarse, ya que, al contener mayor cantidad de etanol, en términos energéticos, presentan una mejor combustión, siendo el combustible  $G_{92}E_{30}$ , alcanzando un valor final de 15.6 %vol.



**Figura 18.** Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

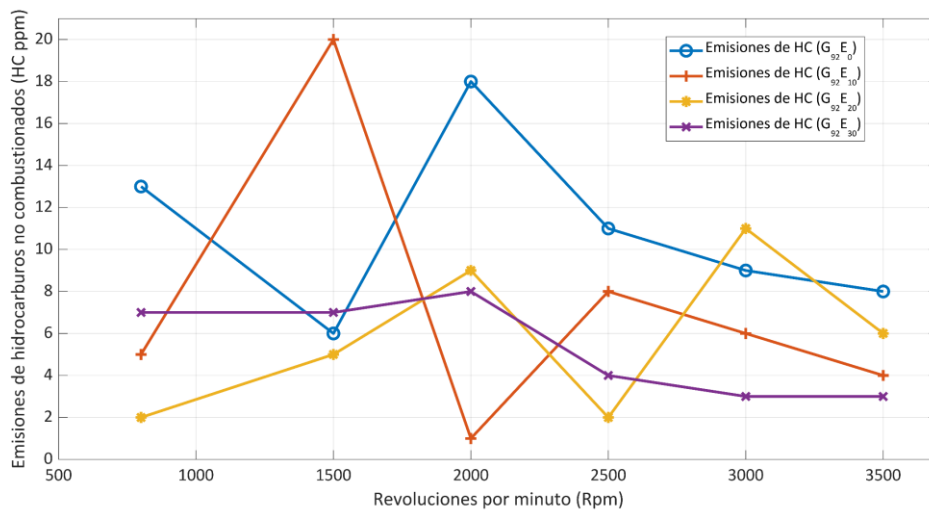
En la Figura 19 se visualiza el comportamiento de las emisiones, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> se da únicamente en el combustible  $G_{92}E_{20}$ , es una reducción del 1.09 %, mientras que, los combustibles  $G_{92}E_{10}$  y  $G_{92}E_{30}$ , tienden a aumentar las emisiones en un 1.96 y 1.52 %, respectivamente, este aumento es relativamente bajo, a consideración de la eficiencia de la combustión.



**Figura 19.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

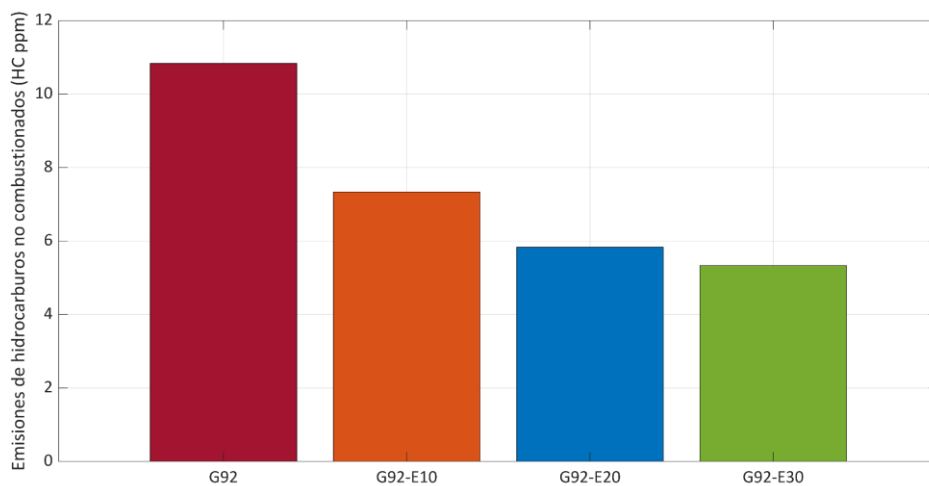
### 3.2.2.3 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

Las emisiones de los hidrocarburos no combustionados (HC) con el combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub> y las diversas concentraciones de etanol, presentan una variable considerable y no se puede discernir una línea de tendencia, tal como se presenta en la Figura 20, en el caso del combustible G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, presenta el pico de emisiones más alto, con un valor de 20 ppm, que corresponde a 1500 rpm, y tienen un descenso considerable a 2000 rpm, alcanzando 1 ppm. Las emisiones de HC en el combustible G<sub>92</sub>E<sub>20</sub>, presentan un bajo nivel a bajas revoluciones, situándose por debajo de las 10 ppm hasta alcanzar 2000 rpm, sin embargo, este mismo vuelve a subir a 3000 rpm y alcanzando una emisividad de 11 ppm. Las emisiones con el combustible G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> presentan los niveles más bajos de emisiones y con el comportamiento más estable, ya que parte con una emisión de 7 ppm y va descendiendo gradualmente hasta alcanzar el nivel de 3 ppm, siendo el combustible más apto para la reducción de este gas.



**Figura 20.** Comportamiento de las emisiones de HC con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

La cantidad de HC emitida por la combustión se puede observar en la Figura 21, en la cual se expresa la cantidad promedio, en donde se distingue que a mayor cantidad de concentración etanol, mayor es la reducción en las emisiones de HC, obteniendo reducciones del 32.30, 46.15 y 50.76 %, correspondiente a los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>, respectivamente.

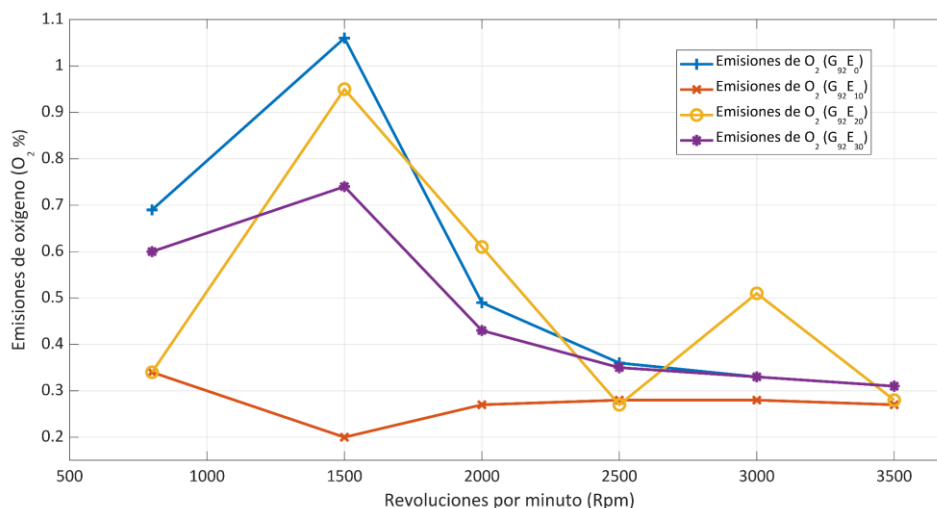


**Figura 21.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de HC con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.2.4 OXIGENO

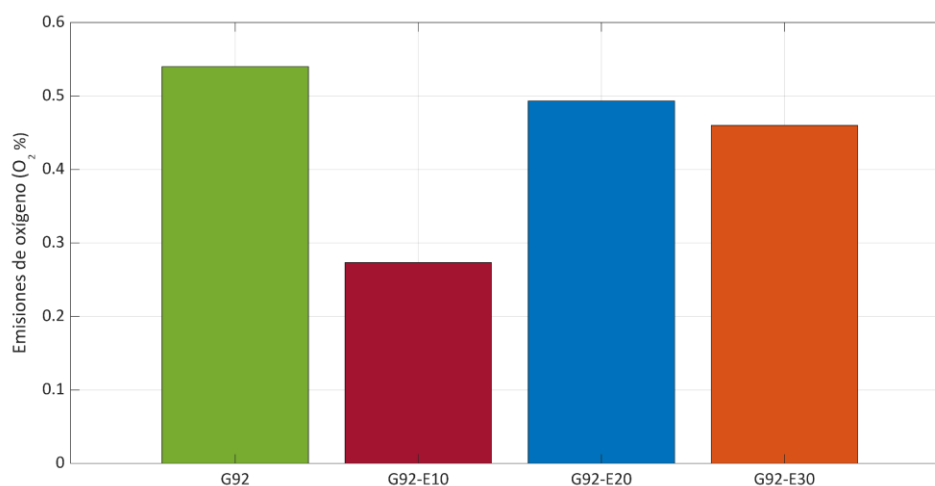
La emisión de oxígeno, en referencia a los parámetros iniciales, presenta comportamientos similares los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>, alcanzando valores altos en bajas revoluciones y tomando valores bajos a altas revoluciones,

finalizando con una emisión de 0.3 %vol. Como se hizo referencia en análisis anteriores, el comportamiento del combustible  $G_{92}E_{10}$  presenta valores bajos en todo el muestreo, tendiendo una estabilidad y con un valor final de 0.27 %vol., (Ver Figura 22).



**Figura 22.** Comportamiento de las emisiones de O<sub>2</sub> con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

Las concentraciones de las emisiones de O<sub>2</sub> son más bajas que el combustible base G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>, obteniendo reducciones del 49.38, 8.64 y 14.81 %, correspondiente los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>, respectivamente.



**Figura 23.** Análisis de barras de la cantidad de emisiones de O<sub>2</sub> con el combustible G<sub>92</sub> y las concentraciones de etanol E<sub>0</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>20</sub> y E<sub>30</sub>

### 3.2.2.5 RESUMEN COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES CON LOS COMBUSTIBLES $G_{92}E_0$ , $G_{92}E_{10}$ , $G_{92}E_{20}$ Y $G_{92}E_{30}$ , BAJO LA CONDICIÓN DE PRUEBAS EN VACÍO

En la Tabla 11 se presenta un resumen de las emisiones bajo las condiciones de las pruebas en vacío, con el empleo de los combustibles  $G_{92}E_0$ ,  $G_{92}E_{10}$ ,  $G_{92}E_{20}$  y  $G_{92}E_{30}$ , en donde se destaca la reducción de emisiones de CO con el empleo del combustible  $G_{92}E_{30}$ , ya que esta disminución equivale al 78.82 %, en referencia al combustible base. Del mismo modo el combustible  $G_{92}E_{20}$ , presenta una disminución del 1.09 % en las emisiones de  $CO_2$ , siendo que los demás combustibles aumentan en un 1.96 y 1.52 %, respectivamente. El comportamiento de las emisiones de HC es en una forma descendente, siendo que el mismo se reduce en efecto que se va aumentando la concentración de etanol, obteniendo reducciones del 32.30, 46.15 y 50.76 % con las concentraciones del 10, 20 y 30 %, en el mismo sentido, las emisiones de  $O_2$  son menores que el combustible base, siendo que la mayor reducción se da en el combustible  $G_{92}E_{20}$ , con una emisión de 0.27 %vol.

**Tabla 11.** Resumen de parámetros de emisiones y temperatura para los combustibles  $G_{92}E_0$ ,  $G_{92}E_{10}$ ,  $G_{92}E_{20}$  y  $G_{92}E_{30}$

Componente	$G_{82}E_0$		$G_{82}E_{10}$		$G_{82}E_{20}$		$G_{82}E_{30}$		Unidad
	min	max	min	max	min	max	min	max	
CO	0.01	0.3	0.03	0.12	0.01	0.33	0.01	0.07	%vol.
$CO_2$	15.2	15.4	15.5	15.6	13	15.6	15.1	15.6	%vol.
HC	6	18	1	20	2	11	3	8	ppm
$O_2$	0.31	1.06	0.2	0.34	0.27	0.95	0.31	0.74	%vol.
Temperatura	87.75	93	85.5	94.5	90	94.5	87	91.5	°C

### 3.3 PRUEBAS A CARGA

La prueba en carga o también denominada dinámica consiste en simular condiciones o parámetros de manejo aplicadas a conducciones reales para determinar las emisiones de los gases contaminantes a diferentes parámetros o estados de funcionamiento del vehículo, para el caso de estudio se determina que los factores que tienen influencia son la concentración de etanol (variación entre el 10 y 30 %), la velocidad del vehículo (comprendida entre los 20 y 60 km/h) y la marcha o cambio del vehículo (primer y quinto cambio), siendo el primero el factor la variación del combustible, y los dos consiguientes el estado de operación del

vehículo. El diseño utilizado es de superficie de respuesta de Box-Behnken, en donde se determinan las combinaciones del tratamiento experimental en base a los tres factores continuos.

A través de la utilización del banco dinamométrico se obtuvo los datos necesarios para realizar gráficas de superficie de respuesta, en donde la variable que se mantiene estática es la relación de la caja de cambio, siendo la misma que se sitúa en la 3<sup>era</sup> marcha.

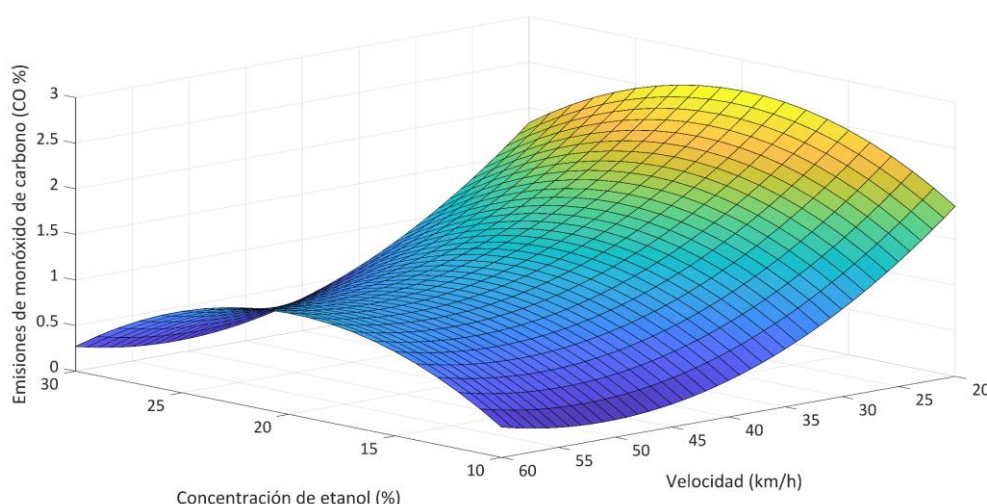
### 3.3.1 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE $G_{82}E_0$ , $G_{82}E_{10}$ , $G_{82}E_{20}$ Y $G_{82}E_{30}$

#### 3.3.1.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la Figura 24, realizada considerando la Ecuación 1 obtenida a través del software estadístico Minitab mediante el análisis de diseño de superficie de respuesta y contando con los factores y sus respectivas interacciones, así generando las ecuaciones cuadráticas completas, se observa el comportamiento de las emisiones de monóxido de carbono en referencia a la concentración de etanol y la velocidad en la que se encuentre el vehículo, en donde se distinguen distintas zonas en donde dicho gas aumenta o disminuye, tal es el caso que, para velocidades bajas, comprendidas entre los 20 y 30 km/h, la curva demuestra un incremento cuando la concentración de etanol se sitúa en el 20 %, obteniendo un valor de 2.31 %vol., sin embargo, se obtiene una reducción del 28.77 % emisiones con el combustible  $G_{82}E_{30}$  con un valor de 0.66 %vol.

A través de la herramienta de optimización de resultados, tomando en consideración únicamente las emisiones de CO, la configuración adecuada para obtener la menor cantidad de emisiones es con una concentración de etanol de un 26 %, y en condiciones de funcionamiento del vehículo es a bajas velocidades, siendo a 20 km/h y con la 2<sup>da</sup> marcha del vehículo.

$$\begin{aligned} CO = & -2.28 + 0.318(\% \text{ Etanol}) - 0.072(\text{Velocidad}) + 0.64(\text{Cambio}) - \\ & 0.00808(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) + 0.00175(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) + \\ & 0.186(\text{Cambio})(\text{Cambio}) - 0.00004(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) + 0.0015(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) - \\ & 0.0353(\text{Velocidad})(\text{Cambio}) \end{aligned} \quad (1)$$

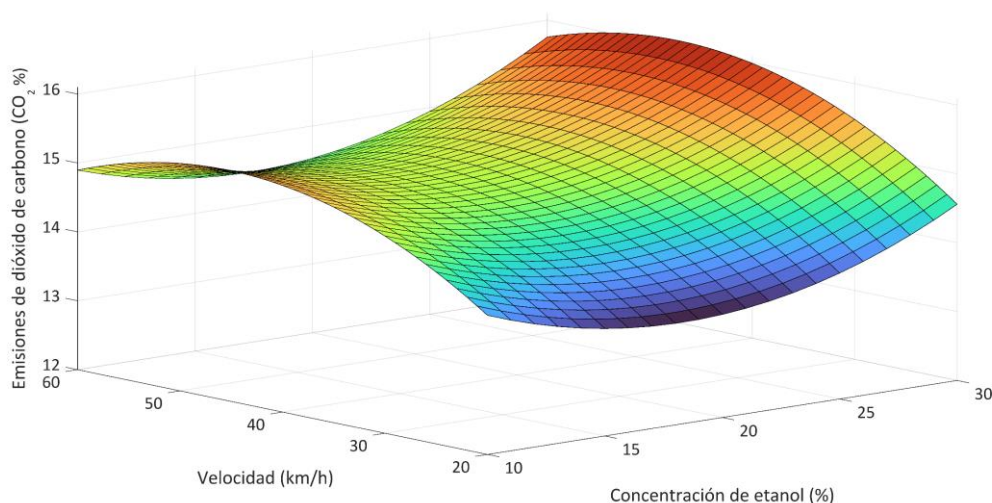


**Figura 24.** Emisiones de CO en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible  $G_{82}E_0$

### 3.3.1.2 DIÓXIDO DE CARBONO ( $CO_2$ )

En la Figura 25, realizada considerando la Ecuación 2, se determina el comportamiento de las emisiones de  $CO_2$ , en donde se distingue que las emisiones van en aumento conforme la velocidad del vehículo va incrementando, a velocidades bajas el combustible  $G_{82}E_{20}$  presenta la menor cantidad de emisiones con un valor de 13.98 %vol., mientras que, los combustibles  $G_{82}E_{10}$  y  $G_{82}E_{30}$  presentan un incremento del 3.64 y 7.43 %, respectivamente. No obstante, a velocidades altas la diferencia entre las emisiones va disminuyendo, la diferencia entre la menor y mayor emisión es del 8.36 %. Del mismo modo la configuración más adecuada es con una concentración de etanol del 23 %, por otro lado, la condición del cambio tiene gran influencia en las emisiones de dicho gas, ya que es inversamente proporcional al cambio, a menor cambio mayor emisividad, por lo tanto, la configuración del cambio es en 5<sup>ta</sup> marcha, mientras que, la velocidad del vehículo se encuentra en 20 km/h.

$$\begin{aligned}
 CO_2 = & 14.74 - 0.182(\% \text{ Etanol}) + 0.1138(\text{Velocidad}) - 0.406(\text{Cambio}) + \\
 & 0.00794(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) - 0.00208(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) - \\
 & 0.027(\text{Cambio})(\text{Cambio}) + 0.00040(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) - 0.0389(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) + \\
 & 0.0235(\text{Velocidad})(\text{Cambio})
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

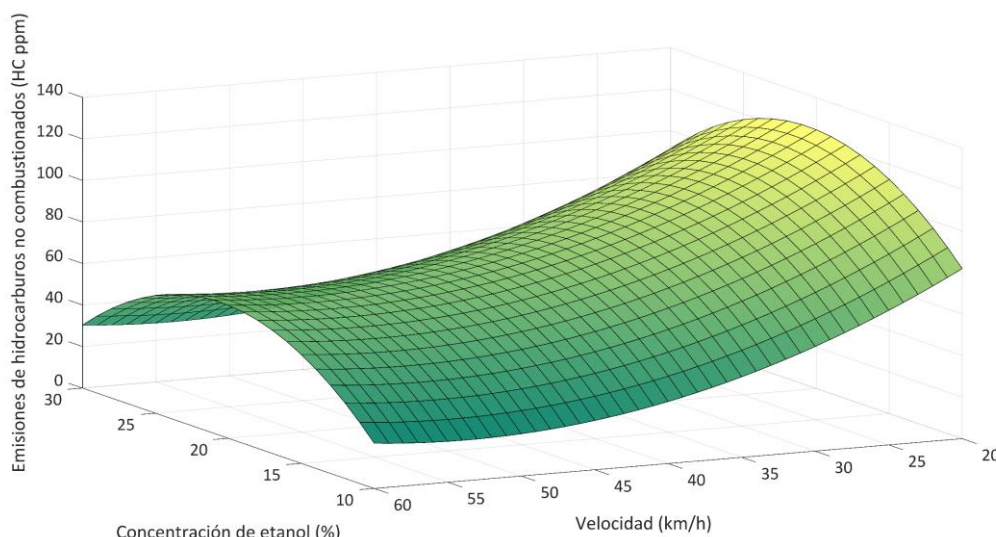


**Figura 25.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible G<sub>82</sub>E<sub>0</sub>

### 3.3.1.3 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

En la Figura 26, realizada considerando la Ecuación 3, se determina el comportamiento de las emisiones de HC, en donde se distingue que, a bajas velocidades, la emisiones del particulado aumenta, en el mismo sentido, el combustible G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> presenta la mayor emisividad contando con 83 ppm a una velocidad de 20 km/h, sin embargo, a esa misma velocidad con el combustible G<sub>82</sub>E<sub>30</sub>, se presenta una reducción del 60.24 %, contando con un particulado de 50 ppm., el comportamiento a altas velocidades sigue la misma tendencia, a través del optimizador de respuesta, la configuración más adecuada para la menor cantidad de emisiones de HC es con una celeridad de 60 km/h, en 5<sup>ta</sup> relación de transmisión y con una concentración de etanol del 30 %, es decir con el uso del combustible G<sub>82</sub>E<sub>30</sub>, obteniendo así una emisividad de 7 ppm.

$$\begin{aligned}
 HC = & -34 + 14.7(\% \text{ Etanol}) - 3.56(\text{Velocidad}) + 0.6(\text{Cambio}) - \\
 & 0.380(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) + 0.0549(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) + 5.68(\text{Cambio})(\text{Cambio}) - \\
 & 0.001(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) + 0.33(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) - 0.775(\text{Velocidad})(\text{Cambio}) \quad (3)
 \end{aligned}$$

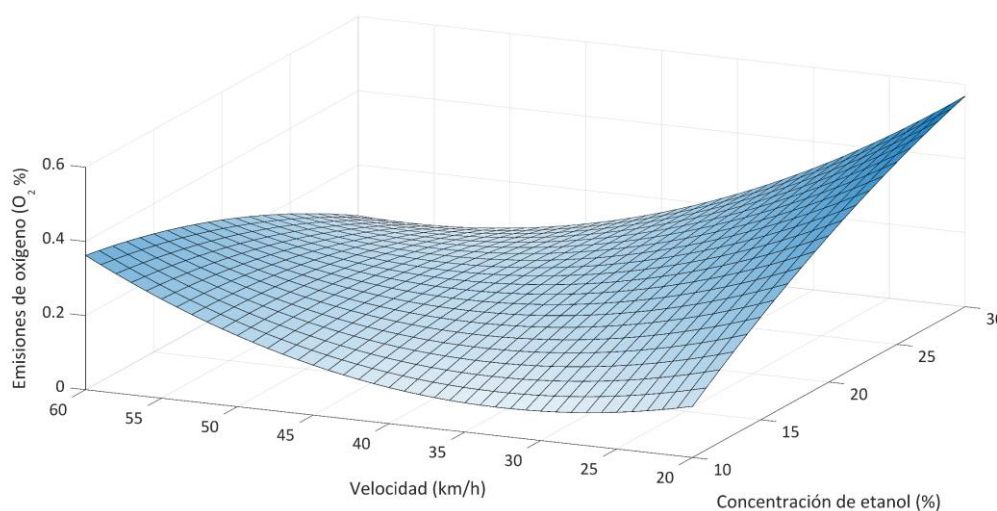


**Figura 26.** Emisiones de HC en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible  $G_{82}E_0$

### 3.3.1.4 OXÍGENO

El comportamiento de las emisiones de  $O_2$  se observa en la Figura 27, realizada considerando la Ecuación 4, en donde se destacan tres zonas fundamentales, a bajas velocidades, el combustible  $G_{82}E_{10}$  presenta la menor emisión contando con un valor de 0.07 %vol., en el rango de una velocidad intermedia, destaca el combustible  $G_{82}E_{20}$  con un valor de emisiones de 0.16 %vol., y por último, en el caso de altas velocidades el combustible  $G_{82}E_{30}$  presenta una emisión de 0.05 %vol., dicho comportamiento es inversamente proporcional a bajas velocidades. Del mismo modo que los anteriores gases, la configuración más adecuada para la reducción de dicho gas es con el uso del combustible  $G_{82}E_{30}$ , con 5<sup>ta</sup> marcha y a velocidades altas, dando como resultado una emisión del 0.0054 %vol.

$$\begin{aligned}
 O_2 = & -0.19 + 0.0607(\% \text{ Etanol}) - 0.0074(\text{Velocidad}) - 0.027(\text{Cambio}) - \\
 & 0.00042(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) + 0.000382(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) + \\
 & 0.0257(\text{Cambio})(\text{Cambio}) - 0.000912(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) - \\
 & 0.00138(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) - 0.00281(\text{Velocidad})(\text{Cambio})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$



**Figura 27.** Emisiones de O<sub>2</sub> en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible G<sub>82</sub>E<sub>0</sub>

### 3.3.1.5 RESUMEN COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES CON LOS COMBUSTIBLES G<sub>82</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> Y G<sub>82</sub>E<sub>30</sub>, BAJO LA CONDICIÓN DE PRUEBAS EN CARGA

En la Tabla 12 se presenta un resumen de las emisiones bajo las condiciones de las pruebas en carga, en donde se detalla la configuración utilizada para el diseño experimental definida por el modelo de Box-Behken, en donde se obtiene los valores de las emisiones bajo las diferentes configuraciones de trabajo del vehículo, teniendo como resultados las emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, fuerza y potencia, estos dos últimos obtenidos del banco dinamométrico. Con relación a los datos obtenidos, se establece que la configuración del combustible G<sub>82</sub>E<sub>30</sub> a 40 km/h y en primera marcha, presenta la menor emisión de CO y HC, contando con un valor de 0.01 %vol. y 9 ppm, respectivamente, mientras que, para la emisión de CO<sub>2</sub>, la configuración adecuada es G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> a 20 km/h y en 5<sup>ta</sup> marcha, obteniendo así una emisión de 11.04 %vol. y para la emisión de O<sub>2</sub> la configuración que destaca es G<sub>82</sub>E<sub>10</sub> a 40 km/h y en 5<sup>ta</sup> marcha, con 0.09 %vol.

Sin embargo, la optimización general de todo el diseño experimental, en donde se satisface todas las variables de salida es con el G<sub>82</sub>E<sub>10</sub> a 27 km/h y en 3<sup>era</sup> marcha, obteniendo emisiones de 0.19 %vol. para el CO, 14.64 %vol. para el caso de CO<sub>2</sub>, 18 ppm para HC y 0.09 %vol. para el O<sub>2</sub>. Del mismo modo se obtuvo que la configuración G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> a 20 km/h y en 1<sup>era</sup> marcha y G<sub>82</sub>E<sub>10</sub> a 60 km/h y en 3<sup>era</sup> marcha,

se obtiene los valores máximos de fuerza y potencia con 2216.9 N y 30.89 kW, respectivamente.

**Tabla 12.** Resumen de parámetros de emisiones y prestaciones para los combustibles G<sub>82</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>82</sub>E<sub>30</sub> en prueba de carga

Mezcla	Velocidad (km/h)	Marcha	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	Fuerza (N)	Potencia (kW)
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.13	14.8	28	0.34	1850.6	20.53
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	20	5 <sup>ta</sup>	6.02	11.04	203	0.75	662.5	3.68
G <sub>82</sub> E <sub>30</sub>	40	5 <sup>ta</sup>	0.17	14.71	29	0.3	923.1	10.23
G <sub>82</sub> E <sub>10</sub>	40	1 <sup>era</sup>	0.14	14.77	16	0.12	88.5	1.62
G <sub>82</sub> E <sub>30</sub>	40	1 <sup>era</sup>	0.01	17.74	9	0.44	1501.9	16.67
G <sub>82</sub> E <sub>10</sub>	20	3 <sup>era</sup>	0.06	14.9	12	0.1	425.7	2.38
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.18	14.88	36	0.1	1829.7	20.27
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	20	1 <sup>era</sup>	0.35	14.67	67	0.54	2216.9	12.31
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	60	5 <sup>ta</sup>	0.09	14.99	23	0.1	915.6	15.21
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.26	14.81	30	0.09	1572.9	17.45
G <sub>82</sub> E <sub>20</sub>	60	1 <sup>era</sup>	0.07	14.86	11	0.34	65.5	2.24
G <sub>82</sub> E <sub>30</sub>	20	3 <sup>era</sup>	0.06	14.71	22	0.33	1554.4	8.63
G <sub>82</sub> E <sub>10</sub>	60	3 <sup>era</sup>	0.12	14.71	9	0.61	1857.5	30.89
G <sub>82</sub> E <sub>30</sub>	60	3 <sup>era</sup>	0.09	14.84	18	0.11	1596.8	26.51
G <sub>82</sub> E <sub>10</sub>	40	5 <sup>ta</sup>	0.18	14.85	10	0.09	917	10.14

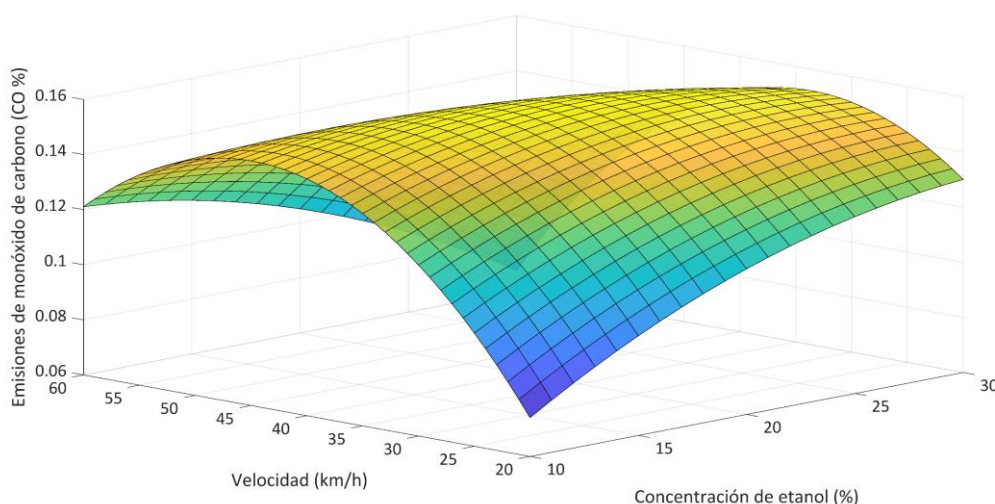
### 3.3.2 ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> Y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>

#### 3.3.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la Figura 28, generada considerando la Ecuación 5, se observa el comportamiento de las emisiones de CO, en donde claramente se detalla que el comportamiento de las emisiones que, en los polos extremos tanto en velocidad como en concentración de etanol, las emisiones son las más bajas, contando con valores muy similares, para el combustible G<sub>92</sub>E<sub>10</sub> y a una velocidad baja, entre 20 y 25 km/h, la emisión es de 0.077 %vol., mientras que, con el combustible G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> y a alta velocidad, 50 y 60 km/h, su valor de emisiones es de 0.076 %vol. En medida que se encuentra una concentración media de etanol y de velocidad se presenta la mayor cantidad de emisiones, contando con un valor de 0.15 %vol., que representaría un incremento del 114 %. Sin embargo, el objetivo de este gas es que su emisividad tienda a 0, por lo tanto, la configuración adecuada para obtener la menor cantidad de emisiones es con una concentración de etanol de un 10 %, y en condiciones de funcionamiento del vehículo es a bajas velocidades, siendo a 20

km/h y con la 1<sup>era</sup> marcha del vehículo, así obteniendo una emisión de 0.071 %vol.

$$\begin{aligned} \text{CO} = & -0.143 + 0.0065(\% \text{ Etanol}) + 0.01035(\text{Velocidad}) + 0.0156(\text{Cambio}) - \\ & 0.000108(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) - 0.000121(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) - \\ & 0.00958(\text{Cambio})(\text{Cambio}) - 0.000137(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) + \\ & 0.00112(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) + 0.000625(\text{Velocidad})(\text{Cambio}) \end{aligned} \quad (5)$$

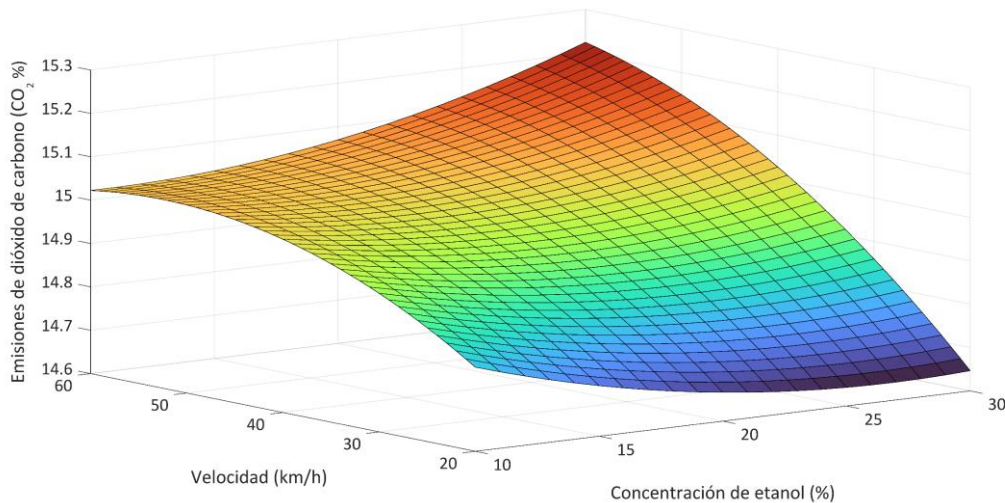


**Figura 28.** Emisiones de CO en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>

### 3.3.2.2 DIÓXIDO DE CARBONO

El comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono se visualiza en la Figura 29, generada con la Ecuación 6, en donde se evidencia que las emisiones van en aumento conforme la velocidad del vehículo va incrementando, a velocidades bajas el combustible G<sub>82</sub>E<sub>20</sub> presenta la menor cantidad de emisiones con un valor de 14.67 %vol., mientras que, los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> presentan un incremento del 1.29 y 0.67 %. No obstante, a velocidades altas la diferencia entre las emisiones va disminuyendo, la diferencia entre la menor y mayor emisión es del 3.61 %, dentro de un factor de estudio esta variación es mínima, por lo tanto, este indicador solo se lo podría relacionar con la eficiencia de la combustión. No obstante, la configuración del cambio es en 5<sup>ta</sup> marcha, mientras que, la velocidad del vehículo se encuentra en 20 km/h, obteniendo una emisión del 14.00 %vol.

$$\begin{aligned}
 CO_2 = & 15.263 - 0.0246(\% \text{ Etanol}) - 0.0016(\text{Velocidad}) - 0.087(\text{Cambio}) + \\
 & 0.00054(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) - 0.000228(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) - \\
 & 0.0303(\text{Cambio})(\text{Cambio}) + 0.000437(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) - \\
 & 0.00437(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) + 0.00706(\text{Velocidad})(\text{Cambio})
 \end{aligned}
 \tag{6}$$



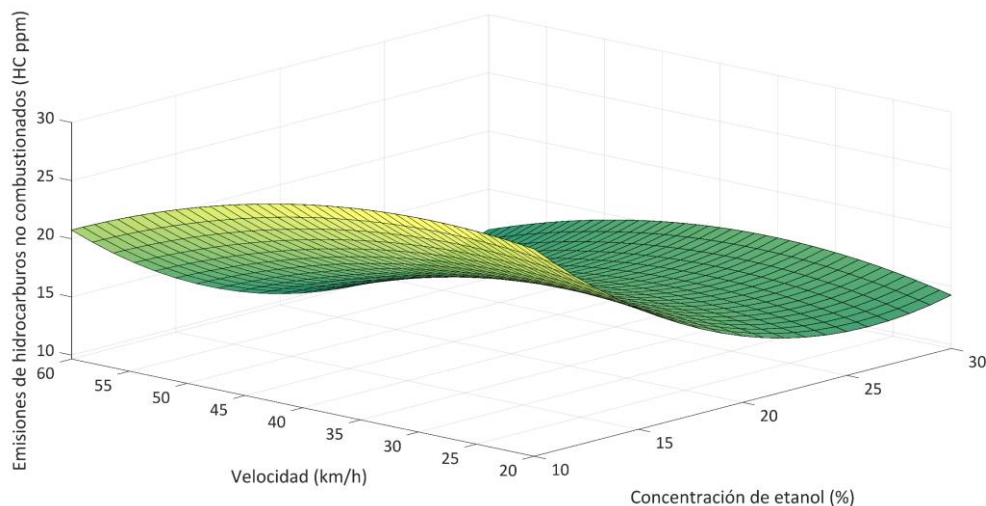
**Figura 29.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible G<sub>92</sub>E<sub>0</sub>

### 3.3.2.3 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS

En la Figura 30, generada con base en la Ecuación 7, se determina el comportamiento de las emisiones de HC, en donde se distingue que a medida que aumenta la concentración de etanol en el combustible las emisiones de HC tienden a disminuir, tal es el caso a baja velocidad se obtiene valores de emisión de 27, 16 y 15 ppm, correspondiente a los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub>, respectivamente. A través del optimizador de respuesta, la configuración más adecuada para la menor cantidad de emisiones de HC es con una velocidad de 60 km/h, en 1<sup>era</sup> marcha y con una concentración de etanol del 25 %, obteniendo así una emisividad de 5 ppm.

Del mismo modo a través de la herramienta de optimizador de respuesta, la configuración más adecuada para la menor cantidad de emisiones de HC es con una velocidad de 60 km/h, en 1<sup>era</sup> marcha y con una concentración de etanol del 25 %, obteniendo así una emisividad de 5 ppm.

$$\begin{aligned}
 HC = & 56.3 - 3.225(\% \text{ Etanol}) + 0.213(\text{Velocidad}) - 3.25(\text{Cambio}) + \\
 & 0.0550(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) - 0.00750(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) - 0.063(\text{Cambio})(\text{Cambio}) + \\
 & 0.00500(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) + 0.0875(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) - 0.0562(\text{Velocidad})(\text{Cambio})
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

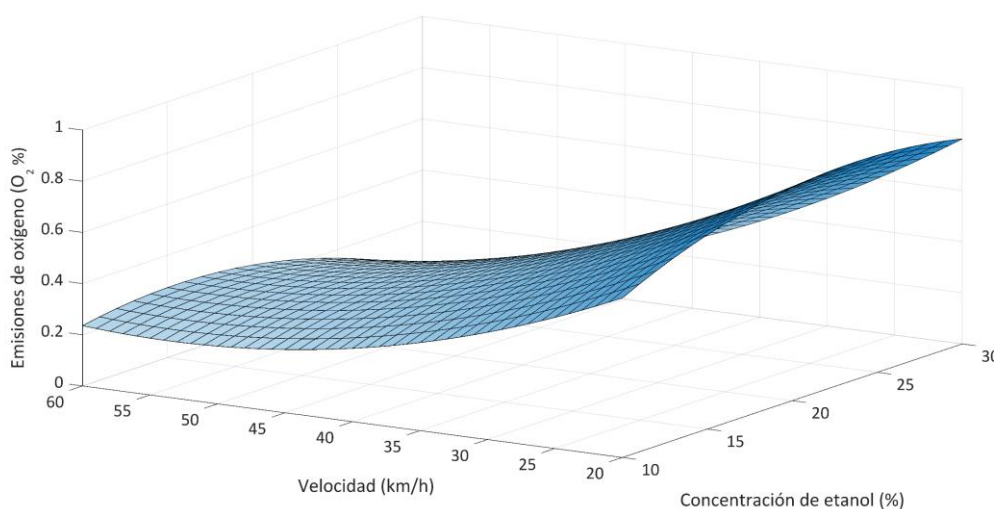


**Figura 30.** Emisiones de HC en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible  $G_{92}E_0$

### 3.3.2.4 OXÍGENO

Las emisiones de Oxígeno aumentan en todo el rango de baja velocidad, sin tener gran diferencia a la concentración de etanol, contando con valores de 0.55, 0.56 y 0.51%vol., respectivamente. Sin embargo, con el combustible  $G_{92}E_{30}$  y a una velocidad media de 54 km/h en 5<sup>ta</sup> marcha, se obtiene la menor emisión contando con un valor de 0.09 %vol., esto es visible en la Figura 31, realizada considerando la Ecuación 8.

$$\begin{aligned}
 O_2 = & -0.50 + 0.0570(\% \text{ Etanol}) + 0.0004(\text{Velocidad}) + 0.158(\text{Cambio}) - \\
 & 0.00122(\% \text{ Etanol})(\% \text{ Etanol}) + 0.000357(\text{Velocidad})(\text{Velocidad}) + \\
 & 0.0576(\text{Cambio})(\text{Cambio}) - 0.00049(\% \text{ Etanol})(\text{Velocidad}) + 0.0035(\% \text{ Etanol})(\text{Cambio}) - \\
 & 0.01125(\text{Velocidad})(\text{Cambio})
 \end{aligned}
 \tag{8}$$



**Figura 31.** Emisiones de  $O_2$  en función de la concentración de etanol y velocidad, para el combustible  $G_{92}E_0$

### 3.3.2.5 RESUMEN COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES CON LOS COMBUSTIBLES $G_{92}E_{10}$ , $G_{92}E_{20}$ Y $G_{92}E_{30}$ , BAJO LA CONDICIÓN DE PRUEBAS EN CARGA

En la Tabla 13 se da a conocer un compendio de las emisiones bajo las condiciones de las pruebas en carga, en donde se detalla la configuración utilizada para el diseño experimental definida por el modelo de Box-Behken. En referencia a los valores obtenidos, se establece que la configuración del combustible  $G_{92}E_{20}$  a 20 km/h y en 5<sup>ta</sup> marcha, presenta la menor emisión de CO y  $CO_2$ , contando con un valor de 0.04 y 13.88 %vol., respectivamente, mientras que, para la emisión de HC, la configuración adecuada es  $G_{92}E_{20}$  a 60 km/h y en 1<sup>era</sup> marcha, obteniendo así una emisión de 8 ppm y para la emisión de  $O_2$  la configuración que destaca es  $G_{92}E_{10}$  a 60 km/h y en 3<sup>era</sup> marcha, con 0.08 %vol. Del mismo modo se obtuvo que la configuración  $G_{92}E_{20}$  a 20 km/h y en 1<sup>era</sup> marcha y  $G_{92}E_{10}$  a 60 km/h y en 3<sup>era</sup> marcha, se obtienen los valores máximos de fuerza y potencia con 1819.2 N y 21 kW, respectivamente. Sin embargo, la optimización general de todo el diseño experimental, en donde se satisfaga todas las variables de salida es con el  $G_{92}E_{20.5}$  a 60 km/h y en 5<sup>ta</sup> marcha, obteniendo emisiones de 0.02 %vol. para el CO, 14.82 %vol. para el caso de  $CO_2$ , 7 ppm para HC y 0.47 %vol. para el  $O_2$ .

**Tabla 13.** Resumen de parámetros de emisiones y prestaciones para los combustibles G<sub>92</sub>E<sub>10</sub>, G<sub>92</sub>E<sub>20</sub> y G<sub>92</sub>E<sub>30</sub> en prueba de carga

Mezcla	Velocidad (km/h)	Marcha	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	Fuerza (N)	Potencia (kW)
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.13	14.91	19	0.43	1544.9	17.12
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	20	5 <sup>ta</sup>	0.04	13.88	13	1.95	707.3	3.92
G <sub>92</sub> E <sub>30</sub>	40	5 <sup>ta</sup>	0.19	14.86	19	0.27	896.2	9.92
G <sub>92</sub> E <sub>10</sub>	40	1 <sup>era</sup>	0.07	14.75	27	0.48	618.9	6.88
G <sub>92</sub> E <sub>30</sub>	40	1 <sup>era</sup>	0.07	15.04	13	0.1	1035.5	11.52
G <sub>92</sub> E <sub>10</sub>	20	3 <sup>era</sup>	0.09	14.93	28	0.15	1558.8	8.67
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.19	14.93	17	0.08	1604.2	17.79
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	20	1 <sup>era</sup>	0.12	15.03	17	0.09	1819.2	10.12
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	60	5 <sup>ta</sup>	0.07	15.03	13	0.15	906.8	15.09
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	40	3 <sup>era</sup>	0.15	15.04	12	0.08	1430.2	15.85
G <sub>92</sub> E <sub>20</sub>	60	1 <sup>era</sup>	0.05	15.05	8	0.09	53	1.68
G <sub>92</sub> E <sub>30</sub>	20	3 <sup>era</sup>	0.1	14.69	14	0.55	1507.6	8.36
G <sub>92</sub> E <sub>10</sub>	60	3 <sup>era</sup>	0.15	14.98	21	0.08	1261.3	21
G <sub>92</sub> E <sub>30</sub>	60	3 <sup>era</sup>	0.05	15.09	11	0.09	1160.7	19.34
G <sub>92</sub> E <sub>10</sub>	40	5 <sup>ta</sup>	0.1	14.92	26	0.37	915.3	10.13

## 4. CONCLUSIONES

La variabilidad en la concentración de etanol en los combustibles que se comercializan en Ecuador tienen gran impacto en la reducción de emisiones de gases contaminantes, desde el principio de formulación, ya que mejora sus características, a través de pruebas de laboratorio, se determinó incrementos en su RON del 12.07, 14.26 y 14.75 %, correspondiente a las concentraciones del 10, 20 y 30 % de etanol, tal es el caso para el combustible  $G_{82}E_0$ , mientras que, para el combustible  $G_{92}E_0$  su incremento es del 1.19, 2.60 y 3.58 %, respectivamente, dando como resultados combustiones más suaves y limpias.

Desde la perspectiva de las implicaciones ambientales y políticas públicas, el uso de etanol en mezclas con combustibles fomenta la producción y generación de biocombustibles, a través de recursos viables procedentes de la agricultura, siendo principalmente la caña de azúcar, según la Asociación de Biocombustible del Ecuador, a través de este se obtiene una generación anual de 65 millones de litros. En base al proyecto del combustible Ecopais, se produce la cantidad de 100 millones de litros de etanol, con el fin de la diversificación energética y la descarbonización de los combustibles fósiles, además que en el año 2019 la producción de bioetanol represento un valor de mercado de 94 millones de dólares con una apertura laboral de 3000 plazas. En la actualidad, Ecuador cuenta con el Plan de Agrocombustibles, la cual busca fomentar la producción de biocombustibles en base de la transformación de 30000 hectáreas de campos de arroz, dicho plan se espera su implementación hasta el año 2034.

Con base en los parámetros determinados por la normativa NTE INEN 2204:2017 para las pruebas en vacío y límites máximos de emisiones, se logró determinar que para el combustible  $G_{82}E_0$  las emisiones de CO y  $CO_2$  se redujeron en un 16.6 y 2 % con el empleo del combustible  $G_{82}E_{30}$ , mientras que, para las emisiones de HC y  $O_2$  la presencia de etanol no influyen de manera significativa. En el caso del combustible  $G_{92}E_0$ , las emisiones de CO se redujeron en un 78.82 % con el empleo

del combustible  $G_{92}E_{30}$ , además se logró determinar que el comportamiento de las emisiones de HC se reducen en un 32.30, 46.15 y 50.76 % conforme se hace el empleo de las concentraciones de 10, 20 y 30 % de etanol. En consecuencia, las dos viabilidades son con los combustibles  $G_{82}E_{30}$  y  $G_{92}E_{30}$ , debido a la baja emisividad general, teniendo valores de 0.2, 14.8 y 1.13 %vol. correspondiente a CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, mientras que, se obtuvo 8 ppm para el HC, y 0.03, 15.5 y 0.46 %vol. correspondiente a CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, mientras que, se obtuvo 5 ppm para el HC, respectivamente.

En el sentido de las pruebas a carga las corridas experimentales vienen definidas por el diseño de superficie de respuesta de Box-Behnken, en donde se genera 15 corridas experimentales en función de parámetros de funcionamiento del vehículo, siendo la concentración de etanol (10 – 30 %), velocidad (20 – 60 km/h) y la relación de marcha (1 – 5). En las pruebas del banco dinamométrico, el combustible  $G_{82}E_{20}$  presenta una fuerza tractora de 2216.9 N, en contraparte el combustible  $G_{92}E_{30}$ , en las mismas condiciones presenta 1819.2 N, siendo el mismo 17.93 % menor. Por otra parte, el combustible  $G_{82}E_{10}$  presenta una potencia máxima de 30.89 kW, mientras que, el combustible  $G_{92}E_{10}$  presenta como resultado una potencia máxima de 21 kW, del mismo modo siendo menor que su contraparte, con una reducción del 32.01 %, destacando significativamente, en términos energéticos, a las mezclas con el combustible  $G_{82}E_0$ .

Con base en las corridas experimentales, se presentan dos configuraciones que aportan la menor cantidad de emisiones de gases contaminantes, siendo la primera con el combustible  $G_{82}E_{10}$  con una velocidad media de 30 km/h y con una relación de marcha en 3<sup>era</sup>, mediante la cual presenta como resultados que la emisión de CO es de 0.19 %vol., 14.64 %vol. para las emisiones de CO<sub>2</sub>, la emisión de 18 ppm de HC y 0.09 %vol. para el O<sub>2</sub>. Mientras que, la segunda configuración contempla al combustible  $G_{92}E_{20}$  con una velocidad alta de 60 km/h y con una relación de marcha en 3<sup>era</sup>, en donde se obtienen resultados de 0.02 %vol. para CO, 14.82 %vol. para CO<sub>2</sub>, 7 ppm para el caso de HC y 0.47 %vol. para O<sub>2</sub>. En términos de emisiones la segunda configuración presenta una reducción de emisiones del 89.47 % para CO y

---

61.11 % para las emisiones de HC, sin embargo, presenta aumentos del 1.22 % para CO<sub>2</sub> y 422.22 % para las emisiones de O<sub>2</sub>.

## REFERENCIAS

- [1] H. Hosseini, A. Hajjalimohammadi, I. Jafari Gavzan, and M. Ali Hajimousa, "Numerical and experimental investigation on the effect of using blended gasoline-ethanol fuel on the performance and the emissions of the bi-fuel Iranian national engine," *Fuel*, vol. 337, no. December 2022, p. 127252, 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2022.127252.
- [2] Z. Zhou, C. Lu, Q. Tan, Y. Shang, Y. Deng, H. Liu, D. Song, X. Zhou, X. Zhang and X. Jiang, "Impacts of applying ethanol blended gasoline and evaporation emission control to motor vehicles in a megacity in southwest China," *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 13, no. 5, p. 101378, 2022, doi: 10.1016/j.apr.2022.101378.
- [3] F. B. Ismail, A. Al-Bazi, and I. G. Aboubakr, "Numerical investigations on the performance and emissions of a turbocharged engine using an ethanol-gasoline blend," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 39, no. April, p. 102366, 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102366.
- [4] S. Liu, Z. Lin, H. Zhang, Q. Fan, N. Lei, and Z. Wang, "Experimental study on combustion and emission characteristics of ethanol-gasoline blends in a high compression ratio SI engine," *Energy*, vol. 274, no. March, p. 127398, 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127398.
- [5] X. Wu, S. Zhang, X. Guo, Z. Yang, J. Liu, and L. He, "Assessment of ethanol blended fuels for gasoline vehicles in China : Fuel economy , regulated gaseous pollutants and particulate matter \*," vol. 253, pp. 731–740, 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.045.
- [6] G. Kaya, "Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of ethanol-gasoline blends in a two stroke uniflow gasoline engine," *Fuel*, vol. 317, no. February, p. 120917, 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.120917.
- [7] C. Myung, K. Choi, J. Cho, K. Kim, S. Baek, Y. Lim and S. Park, "Evaluation of regulated , particulate , and BTEX emissions inventories from a gasoline direct injection passenger car with various ethanol blended fuels under urban and rural driving cycles in Korea," *Fuel*, vol. 262, no. July 2019, p. 116406, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116406.
- [8] F. S. Frutuoso, C. Alves, S. L. Araújo, D. S. Serra, A. L. Barros, F. Cavalcante, R. S. Araújo, N. A. Policarpo and M. M. Oliveira, "Assessing light flex-fuel vehicle emissions with ethanol / gasoline blends along an urban corridor : A case of Fortaleza / Brazil," *Int. J. Transp. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 447–459, 2023, doi: 10.1016/j.ijtst.2022.04.001.
- [9] X. Liang, S. Zhang, X. Wu, X. Guo, L. Han, H. Liu, Y. Wu and J. Hao, "Air quality and health impacts from using ethanol blended gasoline fuels in China," vol. 228, no. February, 2020, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117396.
- [10] M. Zhang, Y. Ge, J. Li, X. Wang, J. Tan, L. Hao, H. Xu, C. Hao, J. Wang and L. Qian, "Effects of ethanol and aromatic contents of fuel on the non-regulated exhaust emissions and their ozone forming potential of E10-fueled China-6 compliant vehicles," *Atmos. Environ.*, vol. 264, no. August, p. 118688, 2021, doi: 10.1016/j.atmosenv.2021.118688.

- [11] Y. Cao, H. Zhao, S. Zhang, X. Wu, J. E. Anderson, W. Shen, T. J. Wallington and Y. Wu, "Impacts of ethanol blended fuels and cold temperature on VOC emissions from gasoline vehicles in China ☆," vol. 348, no. March, 2024, doi: 10.1016/j.envpol.2024.123869.
- [12] L. Monteiro and J. Sodr e, "Cold start emissions of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel," *Fuel*, vol. 95, pp. 122–125, 2012, doi: 10.1016/j.fuel.2011.11.067.
- [13] N. A. Policarpo, F. S. Frutuoso, D. R. Cassiano, F. S. A. Cavalcante, and R. S. Ara ujo, "Emission estimates for an on-road fl ex-fuel vehicles operated by ethanol-gasoline blends in an urban region , Brazil," *Urban Clim.*, vol. 24, no. December 2017, pp. 111–120, 2018, doi: 10.1016/j.uclim.2018.01.005.
- [14] C. Dardiotis, G. Fontaras, A. Marotta, G. Martini, and U. Manfredi, "Emissions of modern light duty ethanol flex-fuel vehicles over different operating and environmental conditions q," *FUEL*, vol. 140, pp. 531–540, 2015, doi: 10.1016/j.fuel.2014.09.085.
- [15] Y. Wang and M. Cheng, "Greenhouse gas emissions embedded in US-China fuel ethanol trade : A comparative well-to-wheel estimate," *J. Clean. Prod.*, vol. 183, pp. 653–661, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.080.
- [16] S. Jhang, Y. Lin, K. Chen, S. Lin, and S. Batterman, "Evaluation of fuel consumption , pollutant emissions and well-to- wheel GHGs assessment from a vehicle operation fueled with bioethanol , gasoline and hydrogen," *Energy*, vol. 209, p. 118436, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118436.
- [17] A. Milovanoff, I. D. Posen, B. A. Saville, and H. L. Maclean, "Well-to-wheel greenhouse gas implications of mid-level ethanol blend deployment in Canada ' s light-duty fleet," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, no. October 2019, p. 110012, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110012.
- [18] C. Qiu, G. Colson, and M. Wetzstein, "An ethanol blend wall shift is prone to increase petroleum gasoline demand," *Energy Econ.*, vol. 44, pp. 160–165, 2014, doi: 10.1016/j.eneco.2014.04.005.
- [19] Z. Zhang, L. Zhang, and S. Wu, "Does ethanol-blended gasoline policy improve air quality in China ?," *Energy Econ.*, vol. 134, no. April, p. 107579, 2024, doi: 10.1016/j.eneco.2024.107579.
- [20] T. M. M. Abdellatief, M. A. Ershov, V. M. Kapustin, E. A. Chernysheva, V. D. Savelenko, A. E. Makhmudova, E. S. Rekhletskaia, T. Salameh and M. A. Abdelkareem, "A consensus novelty detection ensemble approach for formulating renewable gasoline-ethanol blends," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 67, no. April, pp. 1308–1318, 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.03.317.
- [21] AEADE, "SECTOR AUTOMOTOR en cifras," no. 98, Quito, Sep. 2024.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "NTE INEN 935 Productos Derivados Del Petroleo. Gasolina. Requisitos," 2016.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "NTE INEN 2478:2009 Etanol Anhidro. Requisitos," vol. 2478, 2009.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "NTE INEN 2204 Gestion Ambiental. Aire. Vehiculos Automotores. Limites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Moviles Terrestres Que Emplean Gasolina," 2017.