



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Carrera Ingeniería en Mecánica Automotriz

**Estimación de las prestaciones de un motor de encendido provocado a través de
la mezcla de combustibles alternativos con carburantes comerciales**

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

AUTOR:

Ricardo Miguel Cueva Torres

DIRECTOR:

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 08 de septiembre de 2023

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación de las prestaciones de un motor de encendido provocado a través de la mezcla de combustibles alternativos con carburantes comerciales**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico Automotriz**, de la autoría del estudiante **Ricardo Miguel Cueva Torres**, con **cédula de identidad Nro. 1105537888**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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

Firma:

Cédula de identidad: 1105537888

Fecha: 09 de noviembre del 2023

Correo electrónico: ricardo.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0969243669

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

Yo, **Ricardo Miguel Cueva Torres**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación de las prestaciones de un motor de encendido provocado a través de la mezcla de combustibles alternativos con carburantes comerciales**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Mecánico Automotriz**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de noviembre del dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Ricardo Miguel Cueva Torres

Cédula: 1105537888

Dirección: Cariamanga (Barrio San Sebastián, Calle Espíndola y Bolívar)

Correo: ricardo.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0969243669

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

Primeramente, dedico este trabajo a Dios por ser mi protector, mi guía y llenarme de fortaleza en el transcurso de mi formación académica, a mis queridos padres Francisco Cueva y Amada Torres que siempre me han brindado su cariño y apoyo inmensurable. A mis hermanos y hermanas que confiaron en mí en todo momento, brindándome su ejemplo de perseverancia y superación personal. A mis docentes que fueron los que impartieron sus conocimientos a lo largo de esta etapa universitaria. A mis compañeros y amigos que compartieron este proceso conmigo haciéndolo inolvidable, gracias a todos por ser parte de esta época de mi vida.

Ricardo Miguel Cueva Torres

Agradecimientos

Agradezco a Dios y la Virgen Santísima por la salud y bendiciones para toda mi familia. A mis padres de manera principal por todo su apoyo brindado, sus consejos y sus palabras de aliento. A todos mis hermanos de manera especial a mi hermana Paulina, quien fue la que impulsó a que este sueño se convierta en una realidad, y a todos mis familiares que sin ustedes este logro no sería posible concluir.

De igual manera quiero hacer un específico agradecimiento a mi director y guía de Trabajo de Titulación, Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc., por su apoyo profesional, compromiso y enseñanzas brindadas para cumplir con los objetivos propuestos.

Ricardo Miguel Cueva Torres

Índice de Contenido

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de tablas:.....	x
Índice de figuras:.....	xi
Índice de anexos:.....	xii
1. Título.....	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1 Contaminación Global.....	6
4.4.1 Contaminación del Sector Automotriz.....	6
4.4.2 Calidad del Aire en Ecuador	8
4.2 Combustibles.....	8
4.3 Gasolina.....	9
4.3.1 Características de la Gasolina	9
4.4 Gasolina Extra y Súper Premium	10
4.5 Combustibles Alternativos	12
4.6 Alcoholes.....	12
4.6.1 Metanol	13
4.6.2 Etanol	13
4.7 Prestaciones del Motor de Combustión.....	14
4.7.1 Par Motor	14
4.7.2 Potencia.....	14
4.7.3 Consumo Específico de Combustible	15
4.7.4 Curvas Características.....	15
4.8 Emisiones Contaminantes del Sector Automotriz.....	16
4.8.1 Emisiones en los Motores de Encendido Provocado	17

4.9	Normativa Europea Referente a Emisiones	18
4.10	Normativa Nacional	18
4.11	Análisis de los Gases de Escape.....	19
4.12	Banco Dinamométrico.....	20
4.13	Estudios Previos	20
5.	Metodología.....	23
5.1	Equipos y Materiales.....	23
5.1.1	Vehículo	23
5.1.2	Probeta	25
5.1.3	Combustibles.....	26
5.1.4	Alcoholes	26
5.2	Preparación de las Mezclas	27
5.2.1	Porcentajes de cada Mezcla	27
5.2.2	Procedimiento Empleado para la Mezcla	28
5.3	Diseño Experimental	29
5.3.1	Modelo Factorial.....	29
5.3.2	Análisis del Diseño Factorial	31
5.3.3	Gráficas Factoriales	32
5.3.4	Análisis de los Resultados del Modelo Factorial.....	33
5.4	Extracción de Datos de Par y Potencia en un Banco Dinamométrico	34
5.4.1	Tanque de Mezclas de Combustible	35
5.4.2	Datos Emitidos por el Analizador de Gases	36
5.5	Prestaciones del Motor	36
5.5.1	Clasificación de los Datos.....	37
6.	Resultados	39
6.1	Análisis del Diseño Factorial	39
6.1.1	Resultados de Par Obtenidos en el Diseño Factorial	39
6.1.2	Resultados de Potencia Obtenidos en el Diseño Factorial.....	40
6.1.3	Resultados de CO Obtenidos en el Diseño Factorial	41
6.1.4	Resultados de CO ₂ Obtenidos en el Diseño Factorial.....	42
6.1.5	Resultados de HC Obtenidos en el Diseño Factorial	43
6.1.6	Resultados de O ₂ Obtenidos en el Diseño Factorial	44
6.1.7	Resultados del Factor Lambda Obtenidos en el Diseño Factorial	45
6.1.8	Resumen del Modelo Factorial	46

6.1.9	Gráficas y Ecuaciones de los Valores más Representativos del Modelo.....	47
6.2	Análisis de las Curvas Obtenidas	51
6.2.1	Par y Potencia con Diferentes Mezclas.....	51
6.3	Gases Producidos por las Mezclas	53
7.	Discusión.....	55
8.	Conclusiones.....	58
9.	Recomendaciones.....	60
10.	Bibliografía.....	61
11.	Anexos.....	66

Índice de Tablas:

Tabla 1 Requisitos de la gasolina Extra y Súper Premium	11
Tabla 2 Evolución de las normativas europeas para turismos	18
Tabla 3 Valores de los gases de escape.....	20
Tabla 4 Ficha técnica del motor del vehículo utilizado	24
Tabla 5 Características principales de este equipo.....	25
Tabla 6 Características de las mezclas de combustibles	27
Tabla 7 Análisis de varianza de valor p	46
Tabla 8 Resumen del modelo.....	47

Índice de Figuras:

Figura 1	Emisiones de CO ₂ por fuente de energía 1990-2020	7
Figura 2	Curvas características del motor.....	16
Figura 3	Vehículo empleado.....	23
Figura 4	Analizador de gases AGS - 688	24
Figura 5	Probeta de plástico.....	25
Figura 6	Combustibles empleados.....	26
Figura 7	Metanol y Etanol	27
Figura 8	Proceso de la mezcla de combustibles	28
Figura 9	Interfaz inicial Software Minitab	29
Figura 10	Inicio del diseño factorial	29
Figura 11	Configuración de los factores del diseño	30
Figura 12	Niveles y corridas experimentales.....	30
Figura 13	Diseño factorial creado.....	31
Figura 14	Asignación de los valores de la prueba experimental	31
Figura 15	Crear un análisis del diseño factorial	32
Figura 16	Selección del término para el análisis	32
Figura 17	Creación de gráficas factoriales	33
Figura 18	Especificación de las gráficas factoriales	33
Figura 19	Banco dinamométrico.....	35
Figura 20	Pantalla del banco dinamométrico	35
Figura 21	Tanque de combustible.....	36
Figura 22	Monitorización de los gases de escape.....	36
Figura 23	Vehículo durante las pruebas en el banco	37
Figura 24	Tabulación de datos.....	37
Figura 25	Balanza digital para pesar el combustible	38
Figura 26	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del par.....	39
Figura 27	Gráfica de efectos principales para el par	40
Figura 27	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la potencia	40
Figura 29	Gráfica de efectos principales para la potencia	41
Figura 30	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO	41
Figura 31	Gráfica de efectos principales para CO	42
Figura 32	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO ₂	42
Figura 33	Gráfica de efectos principales para CO ₂	43
Figura 34	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de HC	43
Figura 35	Gráfica de efectos principales para HC	44
Figura 36	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de O ₂	44
Figura 37	Gráfica de efectos principales para O ₂	45
Figura 38	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Lambda.....	45
Figura 39	Gráfica de efectos principales para Lambda	46
Figura 40	Gráfica de contorno de Par (Nm) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)	47
Figura 41	Gráfica de superficie de Par (Nm) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje).....	48
Figura 42	Gráfica de contorno de Potencia (Hp) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)	49
Figura 43	Gráfica de superficie de Potencia (Hp) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje).....	49
Figura 44	Gráfica de contorno de O ₂ (% vol.) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)	50
Figura 45	Gráfica de superficie de O ₂ (% vol.) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje).....	50
Figura 46	Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Super Premium	52
Figura 47	Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Super-extra.....	52
Figura 48	Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Extra.....	53

Índice de Anexos:

Anexo 1. Prueba de octanaje	66
Anexo 2. Prueba de presión de vapor	67
Anexo 3. Ficha técnica del metanol.....	68
Anexo 4. Ficha técnica del etanol.....	69
Anexo 5. Ficha técnica del vehículo.....	70
Anexo 6. Certificado de traducción del resumen.....	71

1. Título

Estimación de las prestaciones de un motor de encendido provocado a través de la mezcla de combustibles alternativos con carburantes comerciales

2. Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal la evaluación de las prestaciones del motor de combustión interna de encendido provocado, así como el análisis de los gases contaminantes emitidos por el vehículo Chevrolet Corsa Evolution 1.4 del año 2005. Este estudio se basa en la utilización de las mezclas de combustibles comerciales (Gasolina Extra, Súper Premium y Súper-extra) con combustibles alternativos (Metanol), en proporciones denominadas en el estudio como G-100, G-95, G-90 y G-85, respectivamente.

Para la realización de este proyecto se tiene como apoyo un banco dinámico de rodillos que calcula datos los efectuados de par y potencia, además de un analizador de gases que mide las cantidades de emisiones contaminantes que expulsa el motor hacia el exterior. Los resultados de obtenidos constatan que añadir metanol al combustible Súper Premium ofrece el más alto par y potencia respecto al combustible G-100, los valores suben en un porcentaje de 12.8% y 11.7% respectivamente.

Con respecto a las emisiones contaminantes, es importante destacar que los hallazgos de esta investigación indican de manera concluyente que el uso de un porcentaje de combustibles alternativos produce la reducción de gases nocivos, donde el CO y los HC disminuyeron un 82% y 35 % proporcionalmente con un porcentaje de metanol, respecto al combustible Súper Premium G-100. Este comportamiento tiene impacto directo y positivo en la conservación del medio ambiente y, por ende, en la sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: Prestaciones del motor, banco dinámico, analizador de gases, emisiones contaminantes, metanol, combustible.

Abstract

The main objective of this research is the evaluation of the performance of the internal combustion engine with induced ignition, as well as the analysis of the polluting gases emitted by the Chevrolet Corsa Evolution 1.4 vehicle from 2005. This study is based on the use of the mixtures of commercial fuels (Gasoline Extra, Super Premium and Super-extra) with alternative fuels (Methanol), in proportions called in the study as G-100, G-95, G-90 and G-85, respectively.

To carry out this project, a dynamometric roller bench is used as support that calculates torque and power data, as well as a gas analyzer that measures the quantities of polluting emissions that the engine expels to the outside. The results obtained confirm that adding methanol to Super Premium fuel offers the highest torque and power compared to G-100 fuel, the values increase by a percentage of 12.8% and 11.7% respectively.

With respect to polluting emissions, it is important to highlight that the findings of this research conclusively indicate that the use of a percentage of alternative fuels produces the reduction of harmful gases, where CO and HC decreased by 82% and 35% proportionally. with a percentage of methanol, compared to Super Premium G-100 fuel. This behavior has a direct and positive impact on environmental conservation and, therefore, long-term sustainability.

Keywords: Engine performance, dynamometric bench, gas analyzer, polluting emissions, methanol, fuel.

3. Introducción

La búsqueda de energías renovables que permitan disminuir de manera significativa la dependencia de los combustibles fósiles y a su vez la contaminación ambiental por parte de la industria automotriz toma cada vez más interés para los desarrolladores de este sector. Sumado a los costos que presentan los combustibles, la posible escasez de recursos a largo plazo y las normas de regulación de emisiones cada vez más estrictas que son impuestas a los motores de combustión interna (Melo Espinosa et al., 2012), todos estos factores hacen que se presenten alternativas eco amigables. El Ecuador al ser un país con una gran base de recursos petroleros, disminuye la posibilidad de que la electromovilidad constituya un cambio oportuno durante los próximos años, esto también se debe a la falta de infraestructura adecuada para la gestión y mantenimiento de este tipo de vehículos, además se suma que existe una flexibilidad en las normativas anticontaminantes respecto a los estados europeos, por lo tanto, las propuestas de disminuir los gases de efecto invernadero en el Acuerdo de París no se lograría satisfactoriamente, hasta que los países tomen medidas alternativas que permitan reducir los índices de contaminación (ANFAC, 2022). Por ello la implementación de nuevos combustibles alternativos es una de las opciones más atractivas que permiten usar recursos renovables en el sector automotriz (González Hoyos, 2017).

El presente proyecto vincula el sector académico con el sector productivo, además, se busca proporcionar una alternativa de combustible eco amigable que permita mantener e incluso mejorar el rendimiento de los motores y sus prestaciones, ofreciendo a los usuarios generar menores emisiones contaminantes. Al hacerlo, se espera maximizar favorablemente las características de los combustibles, con ello prolongar la vida útil de los automotores y reducir los costos asociados al mantenimiento del motor, su proceso se efectúa mediante la estimación generada por las prestaciones en un motor de encendido provocado de 1.4 litros con cuatro cilindros en línea, usando una mezcla de combustibles alternativos (Metanol) con gasolinas (Extra y Súper Premium) comercializadas en el país.

En esta investigación primeramente presenta un contexto de literatura de los temas más relevantes que influyen directamente en el procedimiento, los cuales permiten comprender de manera precisa el proceso. Seguido a los descrito anteriormente se emplea una técnica para realizar la composición semejante a lo descrito por Waluyo et al., (2021) que permite establecer un procedimiento correcto para la mezcla, tomando como base los combustibles comerciales a los cuales se les incrementa porcentajes de 5%, 10% y 15% de combustibles alternativos dando

como resultados un composición homogénea lista para utilizar en el motor de combustión interna.

El uso de un banco dinamométrico mide valores cuantificables de par y potencia respecto a las revoluciones y la carga adjudicada, estos datos se guardan en una base y se procesan en un diseño factorial que permite sacar conclusiones y llevar a cabo los procesos experimentales de manera sistemática, así mismo, empleando un analizador de gases se determina en valores las emisiones que expulsa el motor producto de reacción química presente en la combustión, con el fin de apreciar que la variación de los gases contaminantes se favorable para el ecosistema.

El rendimiento del motor y sus prestaciones se espera que mejoren con la implementación de metanol en los combustibles comerciales, esto se verifica en los valores obtenidos de las pruebas realizadas en el banco y con ello se puede generalizar unas conclusiones que justifiquen la mejor mezcla en condiciones de funcionamiento.

4. Marco Teórico

4.1 Contaminación Global

Se trata del impacto ambiental negativo a gran escala que afecta a todo el planeta, la emisión de gases nocivos y partículas contaminantes en la atmósfera son las principales que contribuyen a la contaminación del aire, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de 9 de cada 10 personas en el mundo respiran aire contaminado, lo que provoca entre 7 millones de muertes prematuras cada año debido a enfermedades respiratorias, cardiovasculares, entre otros (Correa, 2021).

Este problema llamado cambio climático es cada vez más difícil de mitigar, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) luego de las restricciones de Covid-19, la actividad del transporte aumentó en un 8% en las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) durante el año 2021 en comparación con el año anterior, las emisiones del transporte han crecido a una tasa promedio anual cercana al 1.7% desde 1990 hasta 2021, lo que la convierte en una de las tasas de crecimiento más rápidas (IEA, 2022).

Para contrarrestar este problema se estableció el Acuerdo de París que es un tratado internacional diseñado para regular las emisiones de gases de efecto invernadero, con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C en comparación con los niveles preindustriales para el año 2100 (Correa, 2021), pero según el informe publicado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático indica que, si las tendencias actuales continúan igual, el calentamiento global alcanzará 1.5°C para el año 2030 (Isla et al., 2019). Este último resultado demuestra que se está incumpliendo la meta establecida en el Acuerdo de París, por lo que hay que actuar inmediatamente y de manera más eficaz.

4.4.1 Contaminación del Sector Automotriz

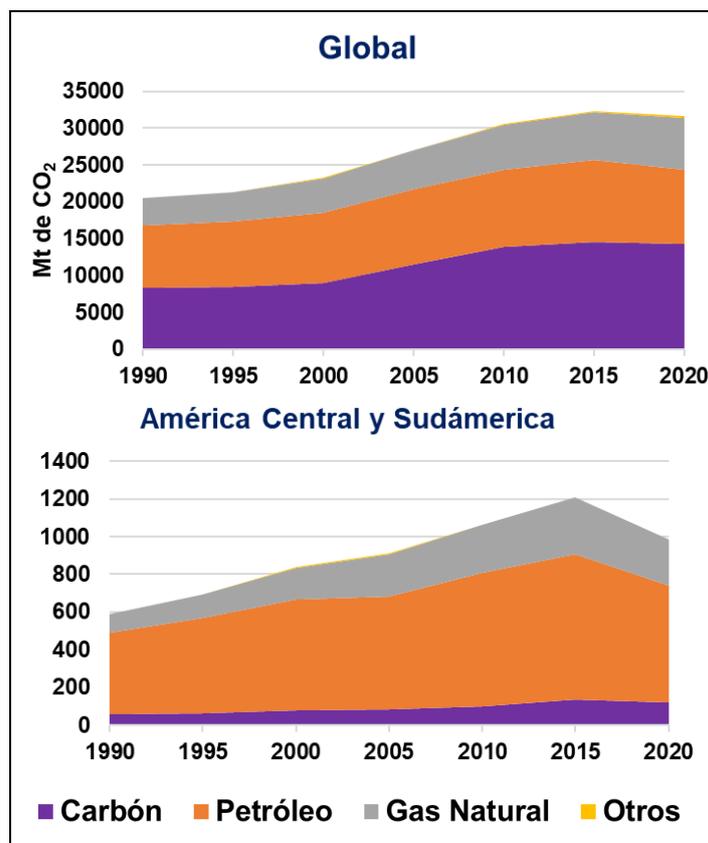
En el campo automotriz la contaminación se ve altamente involucrada del cual se destacan parámetros afines como el petróleo, gas natural y carbón que representaron alrededor de cuatro quintas partes del suministro total de energía a nivel mundial, en América Latina y el Caribe el transporte representa un total de 20% de las emisiones contaminantes (Isla et al., 2019). En 2021, las emisiones globales de CO₂ provenientes de combustibles fósiles casi alcanzaron los niveles de 2019, totalizando 37.9 Gt (gigatonelada), en comparación con el año de la pandemia, 2020, las emisiones globales de CO₂ aumentaron un 5.3% (EDGAR, 2022).

En la Figura 1 se observa las principales fuentes de generación de CO₂ tanto mundial como de América Central y Sudamérica (IEA, 2022c). Los grandes gobiernos pretenden alcanzar el objetivo de emisiones netas cero en el año 2050, dicho esto, el sector de transporte debe reducir sus emisiones de CO₂ en alrededor del 3% anual, logrando una disminución total de un 20% hasta el año 2030 (IEA, 2022a). Para lograr este descenso en el cambio climático es necesario acelerar el proceso de electrificación de los vehículos, así como implementar medidas de eficiencia energética renovable.

Ecuador se destaca en América del Sur como uno de los lugares donde la comercialización de automóviles eléctricos y híbridos está experimentando un aumento significativo, de acuerdo con la información proporcionada por la Asociación de Empresas Automotrices de Ecuador (Aeade). Pese a ello estos tipos de vehículos representan solamente el 7% de las ventas totales de automóviles en Ecuador, por lo que el proceso de electrificación masiva requiere de más tiempo para tener un impacto significativo (Tapia, 2023).

Figura 1

Emisiones de CO₂ por fuente de energía 1990-2020



Nota: Mt de CO₂: Millones de Toneladas de CO₂. Adaptado de *CO₂ emissions by energy source, World and Central & South América 1990-2020*, IEA, 2022b, International Energy Agency.

El sector energético es el principal emisor de gases de efecto invernadero en Ecuador, con una participación del 62.4% en las emisiones totales, en términos absolutos, las emisiones de estos gases aumentaron de 35.2 millones de toneladas (Mt) de CO₂ equivalente en el año 2000 a 68.5 aproximadamente en los últimos años (Ministerio del Ambiente, 2022).

La contaminación en las principales ciudades de Ecuador está aumentando por parte del sector automotor y los problemas son el uso de combustibles fósiles de baja calidad, sistemas anticontaminación deficientes, así como políticas públicas flexibles y obsoletas que no permiten lograr el control adecuado y disminución de las emisiones provenientes del parque automotor (Pérez Paredes et al., 2019).

4.4.2 Calidad del Aire en Ecuador

En el país en especial en las ciudades principales la calidad del aire se ve principalmente afectada por el tráfico vehicular y la combustión de estos, la cantidad actual de material particulado (PM_{2.5}) es de 9 µg/m³, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece 15 µg/m³ como el nivel máximo recomendado de concentración de PM_{2.5} para un promedio de 24 horas, teniendo en cuenta que son datos actuales, se resume que la concentración de PM_{2.5} es aproximadamente 0.36 veces inferior al límite recomendado por la OMS (Loaiza, 2023).

4.2 Combustibles

El combustible se refiere a cualquier material o sustancia que puede ser utilizado para generar energía a través de una reacción química, ya sea mediante la combustión o mediante otros procesos de liberación de energía, como la fisión nuclear o la reacción química en una pila de combustible, se los puede encontrar en estado líquido, sólido y gaseoso (García, 2001).

Los combustibles fósiles son utilizados en diversas aplicaciones, como la generación de electricidad, la producción de productos químicos, la calefacción y principalmente en el transporte, estos combustibles se producen por medio de gas natural, carbón y petróleo, este último se puede refinar en una diversidad de productos petrolíferos, como es la gasolina, el diésel y el gasóleo, los cuales son responsables de un tercio de las emisiones de carbono a nivel mundial (Nunez, 2022).

Por ello, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental se ha impulsado el interés en los combustibles alternativos para el transporte, los biocombustibles como el biodiésel, bioalcoholes (bioetanol, biometanol, biobutanol), biogás, gas de síntesis son usados

principalmente ya que generan menores emisiones de gases de efecto invernadero y son más sostenibles a largo plazo dependiendo de su procedencia (Goñi Delión & Rojas Delgado, 2017).

4.3 Gasolina

La gasolina es un combustible que se obtiene a partir de recursos fósiles, como petróleo crudo, y está compuesta por hidrocarburos que se encuentran en la gama de parafinas, olefinas y aromáticos de cinco a doce carbonos, normalmente se utiliza en motores de combustión interna y para mejorar su desempeño se le agregan aditivos estabilizantes, detergentes y antidetonantes, entre otros, en la refinería de Esmeraldas la gasolina se produce a partir de una combinación de diferentes tipos de nafta, siendo el 22% nafta de alto octano, el 21% nafta tratada, el 15% nafta reformada, el 15% nafta pesada, el 8 % nafta liviana y el 19% otros tipos de nafta, es importante destacar que la calidad de la gasolina puede variar dependiendo de su procedencia y composición (Sanmartin et al., 2022).

En Ecuador la gasolina es un tema relevante debido a su importancia en la economía del país y su impacto en el medio ambiente, es producida por la Empresa Estatal Petroecuador y es regulada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), según el informe de la ARCERNNR la mejor gasolina es la Súper Premium de 95 octanos que tiene un contenido máximo de azufre de 50 ppm (partes por millón) y cumple con los estándares de calidad establecidos por las normas internacionales, sin embargo, en el país también se comercializan otras gasolinas como Extra y Ecopaís (con porcentajes de etanol) de 85 octanos con un contenido de azufre de 291 ppm, Ecoplus de 89 octanos con un contenido de azufre de 200 ppm y Súper de 92 octanos con un contenido de azufre de 150 ppm, a pesar de ellos el uso masivo en el país sigue siendo una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación ambiental (Petroecuador, 2022).

Para abordar este problema, el Gobierno de Ecuador ha implementado medidas como la promoción del uso de combustibles alternativos, la mejora de la eficiencia energética y la adopción de tecnologías más limpias en el sector del transporte, también se han establecido incentivos fiscales para fomentar la producción y uso de biocombustibles en el país (Petroenergía, 2021).

4.3.1 Características de la Gasolina

Densidad. Es la medida de cuánta masa de gasolina está contenida en un determinado volumen, influye en su comportamiento, su capacidad para evaporarse, su rendimiento energético y su capacidad de mezclarse con otros líquidos (Montero Mosquera, 2020)

Volatilidad. Es la capacidad que tiene la gasolina para pasar de su fase líquida a la fase de vapor (Sanmartín et al., 2022).

Goma. Se refiere a los depósitos sólidos o residuos que pueden formarse en los sistemas de combustible de los vehículos o en los tanques de almacenamiento de gasolina (Inga Guamán & Vidal González, 2019).

Contenido de azufre. La cantidad de azufre presente en el combustible está relacionada con los efectos corrosivos en las superficies metálicas del motor y el tubo de escape (Cabezas Jaramillo & Moyano Montero, 2016). En Ecuador la Norma INEN 935:2021, Décima Primera Revisión establece el máximo de ppm para cada combustible.

Punto de congelación. Es la capacidad que tiene el combustible a las bajas temperaturas, la gasolina convencional tiene un punto de congelación por debajo de -40°C (Montero Mosquera, 2020).

Poder calorífico. El poder calorífico del combustible se refiere a la cantidad de energía que se libera cuando se quema un combustible y se encuentra en un valor de 43500 KJ/kg. (Freire Romero & Loza Rojas, 2013).

Índice de octano. Es la medida que indica la resistencia de un combustible, como la gasolina, a la autoignición o detonación en el motor de un vehículo, el índice de octanos en las gasolinas actuales del país varía entre los 85 a 95 (Pérez Darquea, 2018).

Peso específico. Es la medida de la densidad de la gasolina en relación con el agua, un peso específico de gasolina es alrededor de 0.7 a 0.8 g/cm³ (Montero Mosquera, 2020).

Presión de vapor. Permite determinar si el combustible se evapora o no en cuanto la temperatura alcance los 37,8 °C (Aguirre Ibarra, & Vaca Burgos, 2017).

4.4 Gasolina Extra y Súper Premium

La gasolina Extra y Súper Premium comercializadas en el Ecuador son producidas por la empresa EP Petroecuador y reguladas por la ARCERNNR, la Norma Ecuatoriana de Combustibles (NEC) establece las especificaciones técnicas y los requisitos de calidad que se deben cumplir (Petroecuador, 2022).

En la tabla 1 nos denota que los productos derivados del petróleo como la gasolina Extra (85 octanos) y Súper Premium (95 octanos) usadas para motores de combustión interna deben cumplir los requisitos expresados según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 935:2021, décima primera revisión.

Tabla 1
Requisitos de la gasolina Extra y Súper Premium

GASOLINA EXTRA				
	Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano ^a		--	85	--
Destilación:	10 %	°C	--	70
	50 %	°C	77	121
	90 %	°C	--	189
Punto final de ebullición		°C	--	220
Residuo de destilación		% ^b	--	2
Relación vapor/líquido a 20		°C	56.0	--
Presión de vapor		KPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)		--	--	No. 1
Contenido de gomas		mg/100 mL	--	3.0
Contenido de azufre		% ^c	--	0.0650
Contenido de aromáticos		% ^b		30
Contenido de benceno		% ^b		1
Contenido de olefinas		% ^b		18
Contenido de oxígeno		% ^c	--	2.7
Estabilidad de oxidación		Min	240	--
Contenido de plomo, hierro y manganeso		mg/L	--	No detectable
GASOLINA SÚPER PREMIUM				
Número de octano ^a		--	95	--
Destilación:	10 %	°C	--	70
	50 %	°C	77	121
	90 %	°C	--	190
Punto final de ebullición		°C	--	220
Residuo de destilación		% ^b	--	2
Relación vapor – líquido a 60 °C		°C	56.0	--
Presión de vapor		KPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)		--	--	No. 1
Contenido de gomas		mg/100 mL	--	4.0
Contenido de azufre		% ^c	--	0.0300
Contenido de aromáticos		% ^b		35
Contenido de benceno		% ^b		1.3
Contenido de olefinas		% ^b		28
Contenido de oxígeno		% ^c	--	2.7
Estabilidad de oxidación		Min	240	--
Contenido de plomo, hierro y manganeso		mg/L	--	No detectable

Nota. ^a Para determinar el número de octano en ciudades de altura, se debe considerar la ecuación descrita por NTE INEN 2102.

^b % Fracción en volumen expresada en porcentaje.

^c % Fracción de masa expresada en porcentaje.

Adaptado de *Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos*, NTE INEN 935: 2021, décima primera revisión. Servicio Ecuatoriano de Normalización

Las gasolinas comercializadas actualmente en el país se basan en la Normativa NTE INEN 935 décima primera revisión emitida en 2021, la cual exige máximo 650 ppm para la Extra, Ecopaís (85 octanos) y Ecoplus (89 octanos), 450 ppm para la Súper (92 octanos) y 300 ppm para la Súper Premium (95), con ello se cumplen con la norma técnica EURO 3 que se encarga de regular las emisiones (Petroenergía, 2022).

Los combustibles fósiles son una fuente de energía costosa y que se está agotando rápidamente, el petróleo crudo podría desaparecer en los próximos 53 años si no se encuentran nuevas reservas, en el transporte se depende en gran medida de los combustibles fósiles y por ello existe una necesidad urgente de encontrar opciones más sostenibles y económicas, los alcoholes, como el metanol y etanol, son una alternativa eficaz que se puede implementar para satisfacer la demanda de combustibles que expulsen menores emisiones (Agarwal et al., 2021).

4.5 Combustibles Alternativos

El desarrollo de un combustible alternativo conlleva tiempo e investigación, por lo que los ingenieros están explorando la posibilidad de utilizar aditivos que se pueden agregar a los combustibles sin afectar su comportamiento de combustión, ni degradar los componentes mecánicos inmersos en un motor de combustión interna, los alcoholes ligeros son una alternativa de los cuales los que predominan son el etanol, metanol, propanol y butanol, estos son combustibles renovables derivados de bioproductos naturales, mientras que el gas natural es un combustible fósil no renovable en forma gaseosa pero presente en grandes cantidades, es decir que se debe optar por el uso de combustibles renovables, incluyendo combustibles gaseosos, líquidos y electricidad derivada de fuentes de energía de biomasa renovable que puede lograr una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida del automotor (Tripathi & Sharma, 2021).

4.6 Alcoholes

La propiedad más interesante de los alcoholes en el contexto de su uso en motores de combustión interna es su capacidad para autoignición, lo cual los hace más resistentes a la detonación y mejora su octanaje, tanto el metanol como el etanol poseen un número de octano más alto que la gasolina, lo que los convierte en opciones para pretender aumentar el octanaje de los combustibles comerciales y mejorar el rendimiento de motores con altas relaciones de

compresión, lo que puede ser beneficioso para motores modernos y de inyección directa altamente potenciados que requieren combustibles con alto índice de octano (Maurya, 2018).

4.6.1 Metanol

El metanol CH_3OH , también conocido como alcohol metílico, extraído principalmente de madera es un líquido transparente homogéneo sin presencia de faces ni sustancias, este es un hidrocarburo oxigenado ampliamente utilizado en la producción de adhesivos, pinturas, pantallas LCD, siliconas y productos farmacéuticos, así como en la industria maderera y automotriz. En los últimos años, se ha utilizado cada vez más como combustible o componente de mezcla de combustible, con una producción anual de 20 millones de toneladas (Verhelst et al., 2019).

El metanol como combustible tiene un alto contenido de oxígeno en comparación con todos los alcoholes primarios, los motores que son alimentados con metanol poseen una combustión más limpia debido a su alto índice de oxígeno y una estructura química simple, además, se debe aclarar que es un compuesto altamente tóxico y se requiere una manipulación minuciosa para así poder emplearlo correctamente como combustible (Maurya, 2018).

El metanol puede obtenerse de diversos recursos como pretratamiento de materia prima, gasificación de biomasa, tratamiento de síntesis a partir del gas natural y carbón, corregido de hidrocarburos, complemento de hidrógeno, síntesis de metanol y purificación, así como de fuentes madereras, residuos agrícolas y desechos plásticos o de papel, además, se están investigando y desarrollando otras fuentes alternativas, como la captura y utilización del CO_2 para producir metanol, por otra parte el hidrógeno que se requiere para poder realizar la síntesis de metanol se puede obtener de la electrólisis del agua promovida por la energía eólica y solar (No, 2019).

4.6.2 Etanol

El etanol es un compuesto cuya fórmula química es $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ es también conocido con etanol absoluto, presenta una concentración de alcohol etílico de 99.9% de pureza lo cual los hace ideal para mezclas con combustibles, no posee faces ni sustancias extrañas y es conocido comúnmente como alcohol etílico, se obtiene mediante el proceso de fermentación alcohólica de diferentes fuentes, tales como azúcares, cultivos y materiales con alto contenido de sacarosa. Algunos ejemplos de estas fuentes incluyen la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo dulce, la melaza, la madera y los residuos agrícolas y forestales, entre otros. Por ello en este

proyecto solo se lo usa como disolvente en pequeños porcentajes. La importancia del etanol radica en su capacidad de ser utilizado como biocombustible en su totalidad, o bien mezclado en diferentes proporciones, como 5%, 10% o 20% de etanol con gasolina. El uso del etanol se ha expandido, especialmente como una alternativa para sustituir el consumo de combustibles derivados del petróleo. Esto se debe a que uno de los desafíos en la industria automotriz consiste en mejorar los motores de combustión interna con el fin de incrementar la eficiencia de los vehículos que utilizan gasolina y diésel, a la vez que se reducen las emisiones contaminantes y el consumo de combustible (Tripathi & Sharma, 2021).

4.7 Prestaciones del Motor de Combustión

Las prestaciones de un motor se refieren a las características y capacidades específicas que determinan su rendimiento. Estas prestaciones pueden variar según el tipo de motor y su aplicación, pero generalmente incluyen los siguientes aspectos como:

4.7.1 Par Motor

El par motor, también conocido como torque, es la capacidad de un motor para generar un momento de torsión. Significa la capacidad del motor para aplicar una fuerza en un eje de giro y es responsable de proporcionar la potencia necesaria para realizar tareas mecánicas, como se muestra en la ecuación 1, se expresa típicamente en unidades de fuerza por unidad de distancia, como Newton metro (Nm) o libra-pie (lb-ft) (Sanz Acebes, 2022).

$$M = F * d \quad (1)$$

En donde M es el par motor (Nm), d la distancia (m) donde se aplica la fuerza F (N).

4.7.2 Potencia

La potencia de un motor es una medida de la rapidez con la que este puede realizar trabajo o entregar energía, es decir, se define como la tasa de transferencia de energía o la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, se obtiene multiplicando el par motor por la velocidad angular como lo indica la Ecuación 2 y se expresa en unidades, como caballos de fuerza (HP) o vatios (W) (Sanz Acebes, 2022).

$$P = M * n \quad (2)$$

Donde P es la potencia (W), M el par motor (Nm) y n la velocidad angular (rpm).

4.7.3 Consumo Específico de Combustible

El consumo específico de combustible es una medida que indica la cantidad de combustible necesario para generar una unidad de potencia en un motor, es decir, se refiere a la eficiencia con la que un motor convierte el combustible en energía útil como se expresa en la Ecuación 3.

$$C_e = \frac{100 * d}{P * \frac{t}{3600}} \quad (3)$$

Donde C_e es el consumo específico (g/kW.h), d la densidad de la gasolina (g/cm³), P la potencia (W) y t es el tiempo empleado (s)

El consumo específico de combustible se obtiene mediante pruebas de banco y se expresa en unidades g/kWh (gramo/kilovatio por hora), esta medida es importante en la evaluación y comparación de la eficiencia de diferentes motores, ya que permite determinar cuánto combustible se necesita para lograr una cierta cantidad de trabajo o potencia. Un bajo consumo específico de combustible es deseable, ya que indica una mayor eficiencia energética y un menor impacto ambiental al reducir las emisiones de gases de escape.

4.7.4 Curvas Características

En la Figura 2 se puede observar la representación gráfica de los valores de potencia, par motor y consumo específico a medida que varía el número de revoluciones, estos datos se pueden obtener mediante pruebas en un freno dinamométrico, además se puede determinar el régimen de máximo par y el régimen de máxima potencia, en este intervalo de revoluciones el motor presenta su máximo rendimiento (Sanz Acebes, 2022).

4.8.1 Emisiones en los Motores de Encendido Provocado

En cuanto a los gases expulsados por motores de combustión interna que funcionan con gasolina, se pueden dividir en dos categorías principales. Los gases inofensivos, como nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno, conforman una categoría. La otra categoría incluye los contaminantes, que consisten principalmente en monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y plomo (Pérez Darquea, 2018), algunos de estos se ven descritos a continuación según lo estipula Augueri (2011).

Monóxidos de Carbono (CO): Es producido por la combustión incompleta, debido a que no hay suficiente oxígeno disponible para convertir todo el carbono del combustible en dióxido de carbono. Estos gases son tóxicos, incoloros e inodoros, dañan la salud al reducir la oxigenación sanguínea, causando daño a órganos, mareos y problemas cardíacos.

Dióxido de Carbono (CO₂): es la resultante de la combustión de los hidrocarburos, por ello a mayor cantidad de combustible quemado, mayor será la emisión de este gas, el CO₂ es inofensivo en niveles bajos y refleja la eficiencia de la combustión, pero su exceso contribuye al cambio climático.

Hidrocarburos (HC): Estos son expulsados cuando no se queman completamente dentro del motor producto de condiciones de combustión deficientes, como aromáticos o vapores tóxicos, son nocivos y cancerígenos, especialmente el benceno, irritando la piel, ojos y pulmones, e incluso causando depresión y cáncer.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x): Se forman cuando las altas temperaturas y la presión del motor hacen que el oxígeno y el nitrógeno del aire se combinen, por lo que en condiciones de mayor carga se incrementa su formación, estos gases dañan el sistema respiratorio y se regulan debido a su impacto en la salud.

Oxígeno Restante: Un alto nivel de oxígeno puede indicar una mezcla pobre o una combustión incompleta. Si es cero, simboliza que todo el oxígeno ha sido consumido. La monitorización del oxígeno restante es importante ya que permite ajustar la mezcla de combustión y mejorar la eficiencia del motor.

Relación Lambda: Evalúa la eficiencia de la combustión al comparar la relación aire-combustible con la ideal de 14.7:1, es decir 14.7 gramos de aire y 1 gramo de combustible. Si esta relación es mayor a 1, indica una mezcla pobre, con exceso de aire. Si es menor a 1, señala

una mezcla rica, con exceso de combustible. Mantenerla cercana a 1 optimiza el rendimiento y reduce las emisiones de gases nocivos.

4.9 Normativa Europea Referente a Emisiones

La legislación medioambiental europea referente a la contaminación vehicular ha experimentado cambios constantes con el objetivo de exigir emisiones de escape más limpias en los vehículos. Inicialmente, en 1966, California estableció las pautas al enfocarse en reducir significativamente tres tipos de emisiones contaminantes: óxidos de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx). En Europa, se comenzó a regular la contaminación en 1970, y la Unión Europea ha emitido diversas directivas para cumplir con compromisos en materia de emisiones contaminantes (Rodríguez Melchor, 2012).

Las normas Euro establecen límites máximos para las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos y son definidas por el Parlamento Europeo. Cada vez que se actualizan estas normativas, se disminuyen los niveles máximos de contaminantes que los vehículos pueden emitir, lo que, en última instancia, ayuda a preservar un entorno más saludable y libre de contaminación (Rodríguez Melchor, 2012).

En la tabla 2 se indica como han evolucionado los valores máximos de emisiones para turismos con motor de gasolina (Linares Castro, 2023).

Tabla 2
Evolución de las normativas europeas para turismos

Norma	Entrada en vigor	CO	HC	NOx	HC + NO_x
Euro 1	Julio de 1992	2.72(3.16)			
Euro 2	Enero de 1996	2.2			0.97 (1.13)
Euro 3	Enero de 2000	2.3	0.2	0.15	0.5
Euro 4	Enero de 2005	1	0.1	0.08	
Euro 5	Septiembre de 2009	1	0.1	0.06	
Euro 6	Septiembre de 2014	1	0.1	0.06	

Nota: Adaptado de *Normas europeas sobre emisiones para turismos en g/km* por Linares Castro, 2023. Universidad Politécnica de Catalunya.

4.10 Normativa Nacional

La normativa INEN dispuesta por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, garantiza que los productos ecuatorianos cumplan con los estándares de calidad necesarios para satisfacer las demandas locales y promover el comercio tanto a nivel nacional como internacional.

La normativa INEN 2204 establece los límites estáticos para las emisiones contaminantes de vehículos, incluyendo dióxido de carbono e hidrocarburos sin quemar, contribuyendo así a la gestión ambiental y a la calidad del aire en el país (Erazo et al., 2023).

4.11 Análisis de los Gases de Escape

Para garantizar que se cumplan con los límites de emisiones establecidos en las normativas se realizan procedimientos conocidos como ciclos de ensayos en los que intervienen los analizadores de gases. Los cuáles son pruebas estandarizadas diseñadas para medir las emisiones de componentes como NO_x y HC, entre otros. Los más conocidos a nivel mundial son el NEDC (Ciclo de Conducción Europeo Nuevo), que simula un recorrido urbano y extraurbano en un tiempo de aproximadamente 20 minutos a una velocidad de 120 km/h, y el WLTP (Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros), que dura unos 30 minutos y se divide en cuatro fases que abarcan diferentes situaciones de velocidad y condiciones de conducción, desde velocidades urbanas bajas hasta autopistas, pasando por frenadas y aceleraciones controladas en un túnel de viento. El NEDC, utilizado en Europa durante muchos años, ha sido criticado por no reflejar adecuadamente las condiciones reales de conducción, lo que resultó en mediciones de emisiones poco precisas. En contraste, el WLTP representa un avance significativo hacia mediciones más precisas y representativas de las emisiones de vehículos en situaciones reales (Linares Castro, 2023).

El análisis de los gases de escape sirve para evaluar tanto la conformidad con las regulaciones medioambientales, así como para identificar posibles fallas en el motor y sus sistemas auxiliares. Para realizarlo, se utilizan analizadores de gases de rayos infrarrojos que proporcionan información sobre diversos parámetros, los principales son:

- Concentración de hidrocarburos (ppm).
- Concentración de monóxido de carbono (% Vol).
- Concentración de dióxido de carbono (% Vol).
- Concentración de oxígeno en la mezcla (% Vol).
- Coeficiente Lambda.
- Temperatura del aceite del motor.
- Revoluciones por minuto del motor.

Algunos de estos valores se expresan en partes por millón (ppm) o en porcentaje en volumen (% Vol.) (Rodríguez Melchor, 2012). En la tabla 3 se presentan los valores de los gases de escape en un motor con sistema de inyección y catalizador de 3 vías en ralentí.

Tabla 3

Valores de los gases de escape

Gases	Antes del catalizador	Después del catalizador
CO	0.4 %V a 0.8 %V	Menor a 0.2 %V
CO ₂	Menor a 13 %V	Mayor a 13.5 %V
HC	Menor a 250 ppm	Menor a 100 ppm
O ₂	Menor a 1.5 %V	Menor a 0.2 %V
Factor lambda	0.99 a 1.02	0.99 a 1.01

Nota: Adaptado de *Procedimiento para analizar gases de escape* por Rodríguez Melchor, 2012).

4.12 Banco Dinamométrico

El freno dinamométrico es un equipo utilizado en pruebas de motores para medir y controlar su potencia, par motor, consumo y otras características de rendimiento, conjuntamente, proporciona datos importantes para el desarrollo y la evaluación de motores en diversos campos, como la industria automotriz y la investigación científica (Patiño López, 2023).

Para poder obtener información precisa sobre el rendimiento del motor, se debe realizar las pruebas en un banco dinamométrico siguiendo las directrices establecidas por la norma NTE INEN 960, esta norma proporciona los lineamientos necesarios para medir y registrar datos como el torque y la potencia del motor, además, se generarán curvas paramétricas que representan gráficamente estas variables en relación con las revoluciones del motor (Padilla Ávila & Guallo Alulema, 2022).

4.13 Estudios Previos

Abu-Zaid et al. (2004) realizaron un estudio, en donde se investigó experimentalmente el impacto de la adición de metanol a la gasolina en el rendimiento de los MEP. Utilizan gasolina con un número de octano de 89 y se mezcló con diferentes porcentajes de metanol, incluyendo un 3%, 6%, 9%, 12% y 15%. Estos porcentajes se eligieron de manera que se variará la proporción de metanol hasta alcanzar un número de octano igual a 100 (al llegar al 15% de metanol). Las pruebas se llevaron a cabo utilizando un motor de 4 tiempos TD43, de un solo cilindro, con una relación de compresión variable y un volumen de desplazamiento de

582 cm³. Durante la investigación, se realizaron pruebas de rendimiento en diversas condiciones, que incluyeron evaluaciones bajo carga completa y variación de velocidad en un rango de 1000 a 2500 rpm. Los resultados revelaron que la inclusión de metanol tiene un efecto significativo en el rendimiento de los motores de gasolina. La mezcla óptima para lograr el mejor desempeño del motor (máxima potencia y el mínimo consumo específico), dentro del alcance del estudio, consistió en una combinación que contenía un 15 por ciento de metanol en volumen y un 85 por ciento de gasolina. El objetivo fundamental de estas pruebas fue analizar el efecto de estas mezclas de combustible en el rendimiento del motor.

Yanju et al. (2008) realizaron un estudio utilizando tres mezclas de metanol-gasolina, denominadas M10, M20 y M85, con diferentes proporciones de metanol (10%, 20% y 85% en volumen, respectivamente), para investigar su impacto en el rendimiento del motor, la eficiencia térmica y las emisiones, especialmente las de metanol en el escape. El motor utilizado fue un MEP de cuatro tiempos con control electrónico, inyección secuencial multipunto y tres cilindros. Los resultados experimentales demostraron que la potencia del motor en condiciones de aceleración máxima depende principalmente de la cantidad de calor suministrado al motor. La incorporación de metanol mejoró significativamente la eficiencia térmica del motor, aunque la relación metanol/gasolina tuvo un efecto leve en esta mejora. Las emisiones de CO y NO_x del motor disminuyeron a medida que se aumentaba la proporción de metanol/gasolina. Específicamente, el uso de M85 redujo en un 25% las emisiones de CO y en un 80% las de NO_x. Se usó un cromatógrafo de gases para medir las emisiones de metanol. La concentración de esta emisión se relaciona de forma logarítmica con la cantidad de metanol inyectado en el motor. El detector de ionización de llama respondió un 40% menos al metanol que a los hidrocarburos, lo que requirió una revisión de la emisión total de hidrocarburos del motor. Las emisiones de hidrocarburos no relacionadas con el metanol en la gasolina se vieron menos afectadas por su incorporación, y el control de las emisiones de metanol se realizó ajustando la cantidad cíclica de inyección de metanol de manera independiente.

Iliev (2020) desarrolló un modelo computacional unidimensional para simular dos tipos de motores: uno de cuatro cilindros y cuatro tiempos con inyección multipunto y otro con inyección directa. El objetivo era evaluar el impacto de diferentes combustibles en el rendimiento del motor, su eficiencia de consumo y las emisiones. Utilizó el software comercial AVL BOOST para analizar cómo se comportan estos motores con mezclas variables de metanol y gasolina, que incluían proporciones como 5% de metanol (M5), 10% de metanol (M10), 20% de metanol (M20), 30% de metanol (M30) y 50% de metanol (M50). Los

resultados demostraron que las mezclas de metanol-gasolina mejoran la potencia y el torque del motor, pero también incrementaron el consumo de combustible a medida que se aumentaba la cantidad de metanol en la mezcla.

Según lo estipula en su artículo Castelo Valdivieso et al., (2019), en términos generales el uso de etanol en porcentaje de 5%, produce una disminución promedio del 35% en las emisiones de monóxido de carbono (CO) para diferentes velocidades y cargas, en cuanto al CO₂, presenta un descenso aproximado del 6.3%, sin embargo, la mayor ventaja de las mezclas se presenta al usar 15% de etanol, esto provoca una reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) del 83% y una caída promedio del 38% en otros casos.

Por otra parte según Cárdenas et al., (2021) se obtiene resultados que revelan cambios en el rendimiento de un motor a carburador al utilizar 5% de etanol en la gasolina, en el cual se aprecia un aumento del torque en el motor de hasta un 6.58%, mientras que la potencia disminuye en un 4.21%, no obstante existe una diferencia favorable en las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente, con una reducción del 1.21% en las emisiones de CO y una disminución de 160 ppm en las emisiones de hidrocarburos (HC).

5. Metodología

Este presente trabajo investigativo partirá referencialmente de un proceso de investigación exploratoria así como también descriptiva experimental, debido a que actualmente se pretende una producción de combustibles que sean cada vez más amigables con el medio ambiente, por el cual es un tema que requiere total compromiso, por ello con la búsqueda de información necesaria y experimentación de diferentes pruebas que aporten resultados con la finalidad de continuar con el desarrollo y mejoramiento de la eficiencia de la gasolina emitida en nuestro país, además, obtener alternativas favorables que aporten un mejor rendimiento del motor de encendido provocado, contribuyendo con el cuidado del medio ambiente y en sí ayudando a prolongar por más tiempo la utilización de combustibles que cumplan las normas y reglamentaciones establecidas.

5.1 Equipos y Materiales.

A continuación, se detallan los equipos y materiales que se utilizaron para llevar a cabo la presente investigación.

5.1.1 Vehículo

El automotor utilizado es un Chevrolet Corsa Evolution del año 2005, el cual se observa en la Figura 3, este es uno de los modelos de gran circulación dentro del país.

Figura 3

Vehículo empleado



Nota: Fotografía tomada por el autor.

En la tabla 4 se muestran las características principales del motor del vehículo utilizado para realizar esta investigación, de manera más amplia se puede ver las especificaciones de la ficha técnica en el anexo 5.

Tabla 4
Ficha técnica del motor del vehículo utilizado

Parámetro	Descripción
Fabricante	Opel
Modelo	Corsa Evolution
Cilindrada	1388 cm ³
Sistema de inyección	Multipunto
Tipo de combustible	Gasolina de 89 octanos
Consumo de combustible	55.6 km/gal
Sistema de distribución	SOHC
Sensor Knock	No
Potencia máxima	83.7 HP a 6000 rpm
Par máximo	113.56 N.m a 3000 RPM
Relación de compresión	9.5 a 1

Nota: Adaptado de *Manual de taller de Opel Corsa* por Opel, 2005.

Es un dispositivo equipado con varios sensores especializados en medir los gases contaminantes emitidos por el tubo de escape de un vehículo. El analizador utilizado es de marca Brain Bee como se muestra en la Figura 4. El AGS-688 cuenta con una cámara de medición de alta precisión, ampliamente reconocida en todo el mundo. Cumple con estándares de calidad europeos, incluyendo la rigurosa norma de la Asociación de Inspección Técnica de Alemania (TUV). Incluye un software de PC que ofrece diagnósticos de problemas vehiculares basados en emisiones y diversas pruebas adicionales. Cuenta con una impresora térmica para generar informes con valores medidos, datos del taller y fecha de la prueba (Angamarca Manchimba, 2020).

Figura 4
Analizador de gases AGS - 688



Nota: Fotografía tomada por el autor.

Tabla 5

Características principales de este equipo

Propiedades del analizador de gases AGS – 688
Función automática de calibración a cero.
Tiempo de calentamiento inferior a 10 minutos.
Sistema de filtrado mejorado con trampa de agua.
Realiza pruebas automáticas para residuos de HC y vacío.
Incluye auto prueba y auto diagnóstico.
Dispone de un compensador de altura esencial para áreas elevadas.
Posibilidad de medir RPM y temperatura de aceite de forma inalámbrica a través del accesorio MGT300/R (opcional).
Pantalla LCD con retroiluminación.
Software versátil para PC.
Conexión a PC mediante cable USB o, opcionalmente, mediante BLUETOOTH.
Incorpora una impresora térmica de alta velocidad.
Capacidad de medir HC, CO, CO ₂ , O ₂ .
Realiza cálculos de Lambda y CO corregido.
Puede medir NO _x con un sensor opcional.

Nota: Adaptado de *Características principales del analizador AGR – 688 Brian Bee* por Angamarca Manchimba, 2020, Universidad Técnica del Norte.

5.1.2 Probeta

Instrumento de vidrio o plástico como el de la Figura 5, empleado para medir líquidos en volúmenes específicos, su constitución es cilíndrica y graduada lo cual permite su fácil uso.

Figura 5

Probeta de plástico

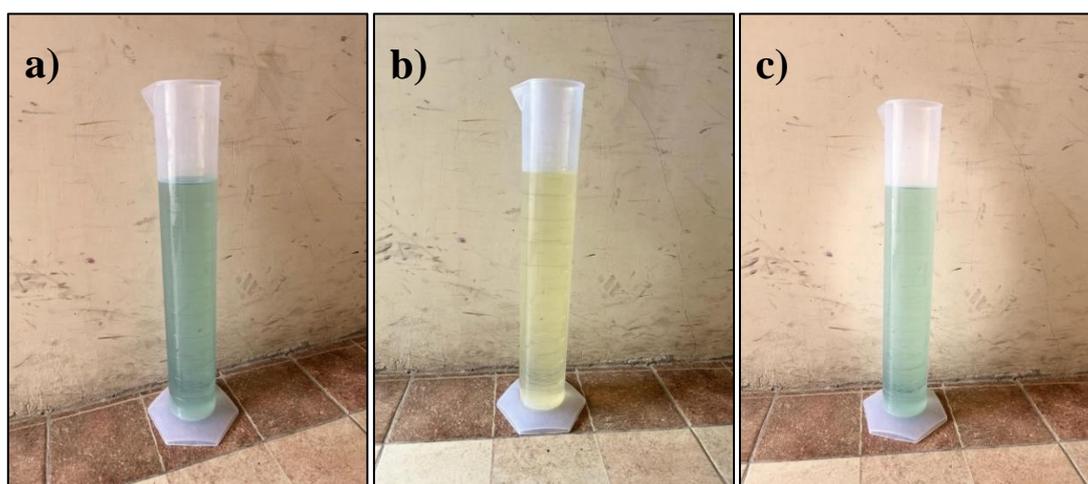


Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.1.3 Combustibles

Las gasolinas empleadas se muestran en la Figura 6, Extra de 85 octanos y Súper Premium de 95 octanos, que son reguladas bajo la norma INEN 935:2021, además de una mezcla de estos dos combustibles en proporciones iguales denominada Súper-Extra la cual posee 93.1 octanos, esta prueba de octanaje se constata en el anexo 1, la cual se realizó en el Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes (LACBAL) de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, este laboratorio es acreditado bajo la norma INEN ISO/IEC 17025:2018 y el los ensayos que se efectúan son establecidos por los Reglamentos Técnicos Ecuatorianos RTE INEN 028. “COMBUSTIBLES”, además, estos combustibles carecen de porcentajes de alcoholes por lo que son apropiados para el presente proyecto.

Figura 6
Combustibles empleados



Nota: Fotografía tomada por el autor. a) Extra, b) Súper Premium, c) Súper-Extra.

5.1.4 Alcoholes

El empleo de los alcoholes como el Metanol (CH_3OH) y Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) mostrados en la Figura 7, poseen una presión de vapor de 23.5 kpa y 27 kpa a 37.8°C respectivamente obtenida a través del LACBAL conforme a los requisitos establecidos por NTE INEN ISO/IEC 17025:2018 descritos en anexo 2, estos valores en condiciones de funcionamiento de un motor superan a los valores ordinarios de la presión de vapor del combustible por lo que se genera una pérdida de energía de la gasolina, además, los alcoholes tienen una concentración del 99.9% de pureza, ambos compuestos se obtuvieron del Laboratorio Clínico Químical, las características principales que poseen se ven reflejados en los anexos 3 y 4 respectivamente.

Figura 7
Metanol y Etanol



Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.2 Preparación de las Mezclas

5.2.1 Porcentajes de cada Mezcla

Las mezclas que se utilizaron para determinar las prestaciones en el motor del vehículo son de gasolina-metanol-etanol, para facilitar la compresión se ha denominado según este estudio como G-100, G-95, G-90, G-85, indicando el porcentaje de metanol de 0%, 4.975%, 9.95% y 14.925% como máximos respectivamente para cada mezcla, de los cuales se redondea para mayor entendimiento en 0%, 5%, 10% y 15%, ya que si se sobrepasa estos valores las partes del sistema de alimentación del vehículo se pueden llegar a corroer. Estos combinados se conservan en un recipiente y se añade una fracción de etanol del 4.975% como disolvente para lograr obtener una mezcla homogénea y por consiguiente mantener estable el fluido en condiciones de funcionamiento. En la tabla 6 especifica las cantidades de gasolina y alcohol empleado, conjuntamente están los combustibles puros, es decir, sin añadir ningún tipo de alcohol para asumir como partida de referencia en el estudio.

Tabla 6
Características de las mezclas de combustibles

Denominación	Cantidad por litro					
	Gasolina		Metanol		Etanol	
	(%)	(L)	(%)	(L)	(%)	(L)
Súper 100%	100	1	0	0	0	0
Súper 95%	90.05	0.95	4.975	0.05	4.975	0.05
Súper 90%	85.075	0.9	9.95	0.1	4.975	0.05
Súper 85%	80.1	0.85	14.925	0.15	4.975	0.05
Súper-Extra 100%	100	1	0	0	0	0
Súper-Extra 95%	90.05%	0.95	4.975	0.05	4.975	0.05

Súper-Extra 90%	85.075	0.9	9.95	0.1	4.975	0.05
Súper-Extra 85%	80.1	0.85	14.925	0.15	4.975	0.05
Extra 100%	100	1	0	0	0	0
Extra 95%	90.05%	0.95	4.975	0.05	4.975	0.05
Extra 90%	85.075	0.9	9.95	0.1	4.975	0.05
Extra 85%	80.1	0.85	14.925	0.15	4.975	0.05

Nota: L: litros, %: porcentaje.

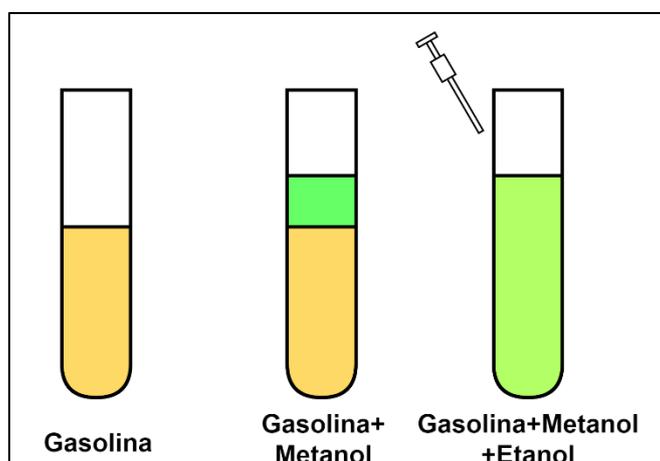
5.2.2 Procedimiento Empleado para la Mezcla

El protocolo de mezclar el combustible con los alcoholes ligeros del presente proyecto está basado en la metodología de Waluyo et al., (2021), quién explica cómo se realiza este proceso de la manera correcta, por tal razón se debe utilizar un recipiente cerrado donde se introduce el combustible con el metanol en las proporciones establecidas en la tabla 6, para posteriormente dejar reposar por un día.

Luego se procede a destapar el recipiente donde se notará que con el paso de las horas el combustible empieza a separarse del metanol por su composición química poco compatible, para evitar esta separación se emplea una porción de etanol a la mezcla empleada y se remueve hasta lograr una mezcla homogénea en todo el compuesto, con ello se verifico que la mezcla se mantenía homogénea, en la Figura 8 se puede apreciar de manera gráfica el proceso que conlleva este método para realizar una correcta implementación de alcoholes en la gasolina, donde primero se aprecia solo el combustibles, luego se ve la separación que existe al usar el combustible con el metanol y finalmente se verifica la homogeneidad que presenta la mezcla final compuesta por gasolina-metanol-etanol.

Figura 8

Proceso de la mezcla de combustibles

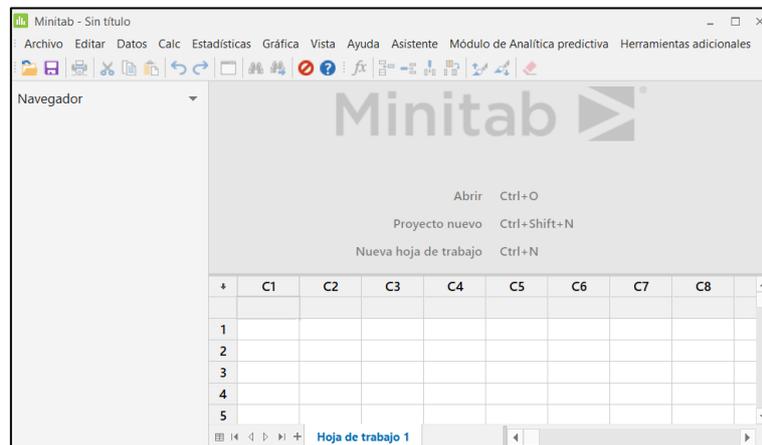


Nota: Gráfico elaborado por el autor.

5.3 Diseño Experimental

El software de análisis estadístico empleado para determinar las diferentes corridas experimentales en este estudio es Minitab, el cual permite realizar funciones desde básicas hasta más avanzadas de acuerdo con las necesidades requeridas, en la Figura 9 se denota la entrada de inicio del programa, además a ello es compatible con Microsoft Excel permitiendo una mayor facilidad en la comunicación de datos. El diseño factorial trata de dar un enfoque experimental que posibilita la exploración de cómo varios factores pueden influir en una determinada respuesta. En lugar de modificar uno por uno los niveles de los factores al realizar un experimento, se manipulan simultáneamente los factores, lo que permite analizar las relaciones y efectos conjuntos entre ellos (Minitab, 2023).

Figura 9
Interfaz inicial Software Minitab

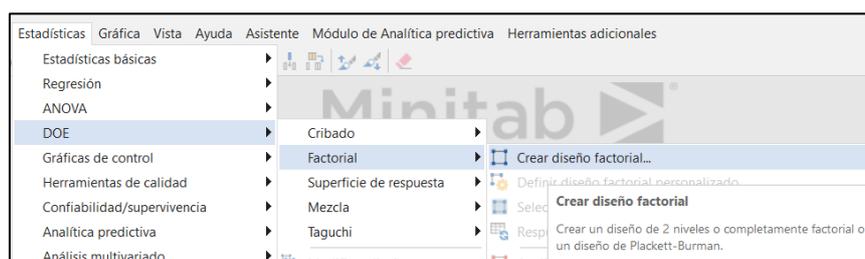


Nota: Grafico obtenido del software Minitab

5.3.1 Modelo Factorial

El proceso para realizar un análisis factorial se inicia entrando a software en el apartado de estadística con la finalidad de llegar a la sección de crear un diseño factorial como lo indica la Figura 10.

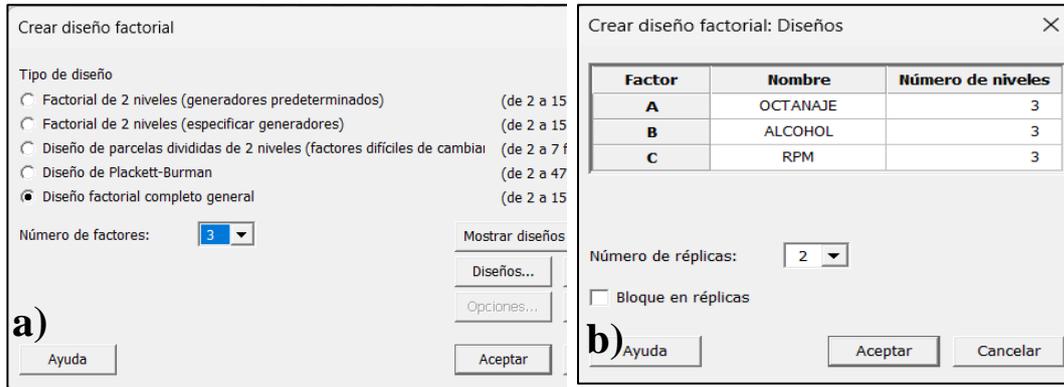
Figura 10
Inicio del diseño factorial



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

Se emplea un diseño factorial completo para este caso de un número de 3 factores, en donde los factores tomados para este estudio son el octanaje del combustible, el alcohol y los rpm como se muestra en la Figura 11.

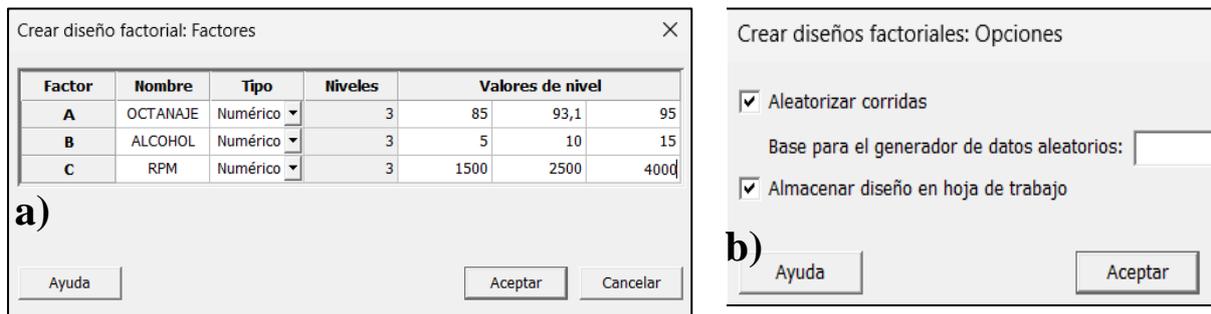
Figura 11
Configuración de los factores del diseño



Nota: a) creación de diseño factorial, b) definición de factores.

Para continuar se coloca tres niveles en cada uno de los factores, es decir para el combustible tenemos un octanaje de 87, 93.1, 95; para el alcohol tenemos los porcentajes de 5%, 10%, 15%; y para las revoluciones por minuto se toman los datos a 1500, 2500 y 4000, respectivamente, sin dejar por alto que las corridas a realizarse deben ser de manera aleatoria como se indica en la Figura 12, la aleatoriedad en la asignación de las condiciones o tratamientos a los sujetos o muestras es importante para reducir el sesgo y garantizar la validez de los resultados, ya que ayuda a evitar posibles sesgos sistemáticos en la recolección de datos.

Figura 12
Niveles y corridas experimentales



Nota: L: a) designación de los niveles, b) tipo de corridas

El diseño factorial creado se presenta en la Figura 13, el cual tiene expresado de forma aleatoria las corridas experimentales de los tres factores con sus respectivos niveles aleatorias que son emitidas directamente por el software.

Figura 13
Diseño factorial creado

Diseño factorial de múltiples niveles

Resumen del diseño

Factores: 3 Réplicas: 2
Corridas base: 27 Total de corridas: 54
Bloques base: 1 Total de bloques: 1

Número de niveles: 3; 3; 3

Tabla de diseño (aleatorizada)

Corrida	Blq	A	B	C
1	1	2	3	1
2	1	1	2	1
3	1	2	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	3
6	1	3	1	2
7	1	3	3	2

* +	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	OCTANAJE	ALCOHOL	RPM			
1	16	1	1	1	93,1	15	1500			
2	31	2	1	1	85,0	10	1500			
3	45	3	1	1	93,1	15	4000			
4	10	4	1	1	93,1	5	1500			

Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

Para obtener los resultados del diseño se colocan los datos obtenidos por medio del banco dinamométrico y por el analizador de gases durante las pruebas realizadas con las diferentes mezclas de combustible. La Figura 14 ilustra la asignación de estos valores.

Figura 14
Asignación de los valores de la prueba experimental

Diseño factorial de múltiples niveles

Resumen del diseño

Factores: 3 Réplicas: 2
Corridas base: 27 Total de corridas: 54
Bloques base: 1 Total de bloques: 1

Número de niveles: 3; 3; 3

* +	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	
	Gasolina	Octanaje	Alcohol %	RPM	CO (% vol)	CO2 (% vol)	HC (ppm vol)	O2 (% vol)	LAMBDA	PAR (Nm)	POTENCIA (Hp)
1	93,1	10	2500	3,57	12,4	195	0,18	0,900	88,02	30,70	
2	95,0	5	4000	0,31	14,5	106	0,26	0,999	86,79	49,50	
3	85,0	5	4000	6,24	10,8	200	0,14	0,829	89,91	51,40	
4	85,0	10	1500	1,98	13,4	179	0,29	0,947	79,45	16,90	
5	95,0	10	4000	0,34	14,4	136	0,25	0,996	88,54	50,70	
6	85,0	15	1500	2,30	12,5	252	1,10	0,971	77,78	16,70	
7	93,1	10	4000	4,27	12,0	195	0,15	0,880	90,41	51,70	
8	85,0	10	2500	1,12	14,0	175	0,31	0,975	88,05	30,80	
9	95,0	5	2500	1,89	13,6	147	0,20	0,949	82,51	28,80	
10	85,0	5	4000	0,29	14,4	120	0,26	0,999	89,49	51,10	

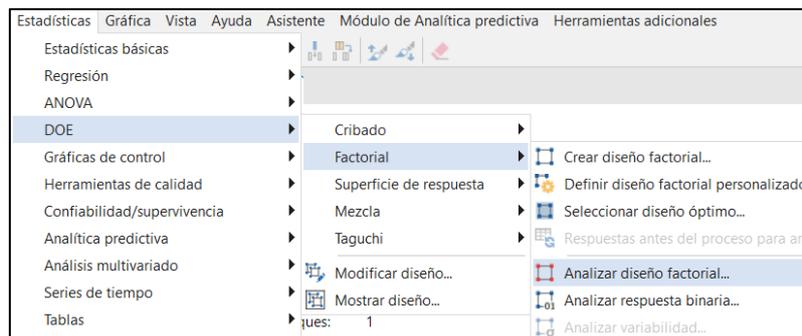
Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

5.3.2 Análisis del Diseño Factorial

Al crear el análisis factorial se pueden determinar varios resultados que determinan la efectividad de modelo entre los cuales tenemos, el diagrama de Pareto de los efectos

visualmente que señala los efectos significativos y permite comparar la magnitud relativa de los diferentes efectos de manera gráfica, los resultados de R^2 permiten evidenciar cuán bien se ajustan los datos al modelo, los valores de p de los términos lineales en el análisis de varianza indican si los datos siguen la distribución normal (Minitab, 2023). Una vez completados todos los datos requeridos para el modelo como indica en la Figura 15 se puede evidenciar el proceso para llevar a cabo este análisis en el software Minitab.

Figura 15
Crear un análisis del diseño factorial



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

Posteriormente se debe seleccionar un término de los cargados en el programa como lo indica la Figura 16, este proceso se repite para todos los términos que se desea analizar.

Figura 16
Selección del término para el análisis

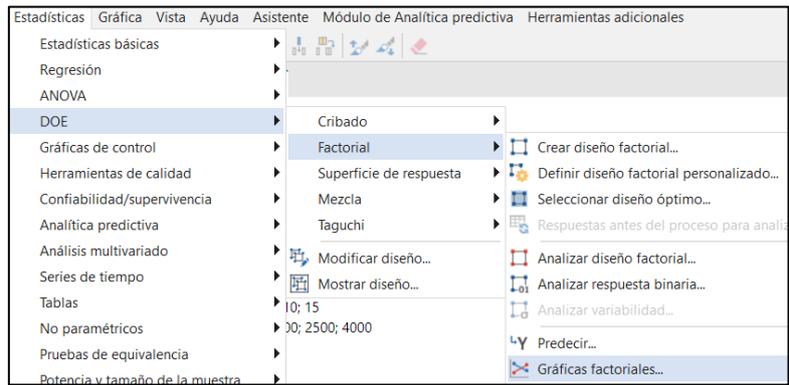


Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

5.3.3 Gráficas Factoriales

Luego de obtener el análisis procedemos la adquisición de las gráficas factoriales de efectos principales las cuales muestran las interacciones y cómo afectan cada factor en la respuesta, el proceso inicial es similar al anterior como se puede apreciar en la Figura 17, con la diferencia que se debe seleccionar en el apartado descrito como gráficas factoriales.

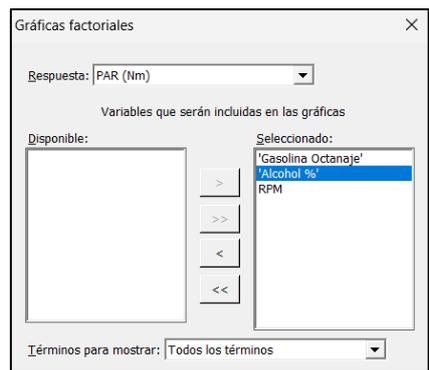
Figura 17
Creación de gráficas factoriales



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

Siguiendo con el último paso para obtener los resultados, se procede a seleccionar como respuesta un dato en específico con sus respectivas variables incluyendo todos los términos, de igual manera se procede a realizar el mismo proceso para todos los datos a efectuarse.

Figura 18
Especificación de las gráficas factoriales



Nota: Gráfico obtenido del software Minitab

5.3.4 *Análisis de los Resultados del Modelo Factorial*

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

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

Gráficas de Efectos Principales. Estas gráficas permiten inspeccionar las influencias y diferencias existentes entre uno o más factores, se encuentran conectados por una línea intermedio que es la guía para entender el resultado (Minitab, 2023).

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

Gráficas de Contornos y Superficies. Un gráfico de contorno sirve para investigar la posible relación entre tres variables de manera tridimensional en dos dimensiones, donde los valores de la respuesta se indican mediante líneas de contorno. Por otro lado, las representaciones gráficas de superficie 3D y las gráficas de malla 3D, son herramientas que puede emplear para investigar la posible relación entre tres variables, es decir, estas gráficas también permiten visualizar la relación tridimensional entre las variables y ofrecen una perspectiva más completa de cómo interactúan entre sí. Además, se obtiene la ecuación de regresión que es una representación de la relación existente entre la respuesta obtenida con todos los términos utilizados en el modelo (Minitab, 2023).

Resumen del Modelo. Se emplea el resumen para determinar que tan bien se ajusta el modelo a los datos. La desviación estándar (S) describe evalúa que tan bien el modelo describe la respuesta, mientras más bajos sean los valores el estudio será más acertado, el R^2 representa el porcentaje de variación en la respuesta, esto quiere decir que tan ajustado se encuentra el modelo con los datos proporcionados, entre más se acerque al 100% mejor se ajustará al modelo, el R^2 ajustado se complementa con el R^2 pero se ajusta para el número de predictores existentes en el modelo, se puede usar como comparación entre varios modelos, finalmente el R^2 predictivo como su palabra lo expresa es la capacidad de predicción del modelo, es decir, determina qué tan favorable es el modelo para futuras investigaciones (Minitab, 2023).

5.4 Extracción de Datos de Par y Potencia en un Banco Dinamométrico

Para obtener los datos de potencia y par a diferentes regímenes se realizan pruebas en un banco dinamométrico, el cual consiste en un banco de pruebas equipado con un rodillo que ejerce una fuerza de resistencia sobre los neumáticos del vehículo, en la Figura 19 se muestra la estructura del banco y cómo se posiciona el vehículo en donde se fija a varios puntos con ayuda de arneses de seguridad para evitar accidentes.

Figura 19
Banco dinamométrico



Nota: Fotografía tomada por el autor.

Este banco está dotado de una pantalla como se muestra en la Figura 20, se encuentra en la parte frontal superior a la altura del vehículo con la finalidad de que el conductor pueda guiarse de los parámetros establecidos para cada prueba a efectuarse, con ello se puede monitorear la velocidad, el par y la potencia como parámetros principales.

Figura 20
Pantalla del banco dinamométrico



Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.4.1 Tanque de Mezclas de Combustible

Se emplea un tanque de acero inoxidable con adaptaciones de una bomba y conductos para conectarlo al sistema de alimentación, como se muestra en la Figura 21, reemplazando así el tanque original, su función es receptor y evacuar las mezclas de manera óptima y con un fácil acceso.

Figura 21
Tanque de combustible



Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.4.2 Datos Emitidos por el Analizador de Gases

El analizador de gases permite cuantificar los diferentes gases que expulsa el motor hacia el medio ambiente producto de la combustión, para ello se introduce la sonda la salida del tubo de escape, este a su vez se comunica al computador que se encuentra en el equipo el cual procesa y expresa los valores en que se encuentra estos gases como lo muestra la Figura 22, estos datos son esenciales para el diseño factorial de esta investigación.

Figura 22
Monitorización de los gases de escape



Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.5 Prestaciones del Motor

Para obtener las prestaciones que genera el motor del vehículo de prueba con las mezclas de combustibles efectuadas, se procede a montar el automotor en el banco como observa en la Figura 23, a este banco se le impuso una carga del 10% para realizar las pruebas, la cual consiste en una vez encendido el vehículo con el combustible correcto se acelera y se sube la marcha hasta llegar a cuarta sin que sobrepase los 40 km/h, luego a ello se pisa a fondo

el acelerador hasta llegar a las 6000 rpm aproximadamente con la finalidad de sacar los máximos valores de par y potencia, se repite este proceso para todas las muestras del estudio.

Figura 23

Vehículo durante las pruebas en el banco



Nota: Fotografía tomada por el autor.

5.5.1 Clasificación de los Datos

Los datos emitidos son guardados en hojas de trabajo, luego se procede a clasificar la base de datos y posteriormente ordenarlos, en la Figura 24 se muestran los datos clasificados en Excel en orden secuencial con la finalidad de poder obtener las gráficas de las curvas características de un motor de combustión interna.

Figura 24

Tabulación de datos

PAR (Nm)					POTENCIA (HP)				
RPM	SÚPER 100 ^l	SÚPER 95 ^l	SÚPER 90 ^l	SÚPER 85 ^l	RPM	SÚPER 100 ^l	SÚPER 95 ^l	SÚPER 90 ^l	SÚPER 85 ^l
1600,00	64,89	66,98	69,47	66,39	1600,00	15,03	15,47	15,98	15,32
1650,00	65,01	67,64	69,77	66,50	1650,00	15,31	15,73	16,29	15,49
1700,00	65,09	68,21	70,06	66,50	1700,00	15,85	16,15	16,74	15,88
1750,00	65,14	68,49	70,77	66,64	1750,00	16,24	16,71	17,39	16,36
1800,00	65,32	69,06	71,05	66,93	1800,00	16,88	17,21	17,94	16,96
1850,00	65,65	69,34	71,90	67,78	1850,00	17,12	17,86	18,77	17,57
1900,00	65,65	69,77	72,47	68,35	1900,00	17,41	18,51	19,31	18,20
1950,00	65,51	69,63	72,61	68,21	1950,00	17,79	18,93	19,85	18,67
2000,00	65,22	69,20	72,47	68,07	2000,00	18,10	19,33	20,35	19,12
2050,00	64,51	68,92	71,76	67,78	2050,00	18,34	19,71	20,70	19,55
2100,00	63,80	68,21	71,33	67,21	2100,00	18,64	20,01	21,02	19,81
2150,00	63,38	67,78	70,91	66,64	2150,00	18,91	20,29	21,39	20,12
2200,00	63,09	67,36	70,48	66,08	2200,00	19,34	20,63	21,86	20,45
2250,00	63,66	67,21	71,05	65,93	2250,00	19,90	21,13	22,40	20,84
2300,00	63,95	67,78	71,48	66,22	2300,00	20,46	21,68	23,00	21,39
2350,00	64,94	68,63	71,90	66,93	2350,00	21,19	22,44	23,80	22,07
2400,00	65,79	69,20	72,90	67,07	2400,00	21,97	23,18	24,59	22,70
2450,00	66,36	70,48	74,18	68,63	2450,00	22,66	24,11	25,48	23,50
2500,00	68,07	71,90	75,46	70,20	2500,00	23,64	25,02	26,51	24,54
2550,00	69,77	73,61	76,88	71,76	2550,00	24,67	26,20	27,54	25,75
2600,00	70,91	74,89	78,44	73,61	2600,00	25,59	27,22	28,56	26,87
2650,00	72,33	76,73	80,29	75,17	2650,00	26,61	28,30	29,64	27,93
2700,00	73,89	78,30	81,57	76,45	2700,00	27,73	29,37	30,75	29,01
2750,00	74,74	79,43	82,56	78,01	2750,00	28,53	30,34	31,69	30,04
2800,00	75,31	80,43	82,84	78,01	2800,00	28,21	31,28	32,54	30,88

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel.

Se utilizó una balanza digital como se muestra en la Figura 25, en la cual realizó la medida de peso en gramos el combustible al inicio y final de cada prueba.

Figura 25
Balanza digital para pesar el combustible



Nota: Fotografía tomada por el autor.

6. Resultados

6.1 Análisis del Diseño Factorial

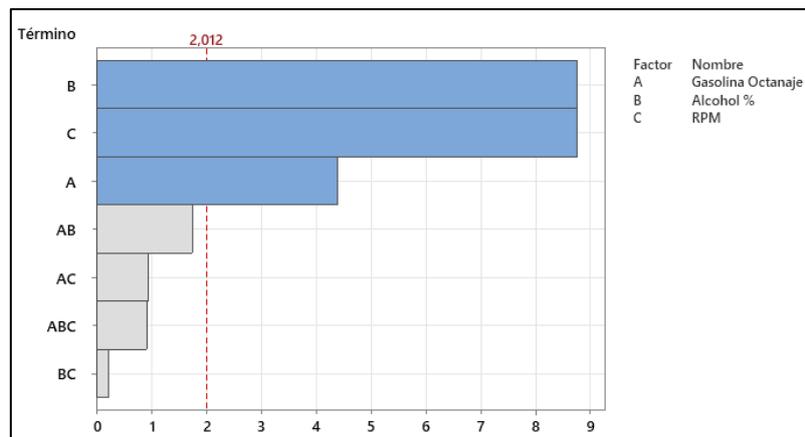
El diseño factorial presenta varios resultados de los cuales se toma interpretaciones de los mismos que permiten verificar si el diseño es óptimo, estos parámetros más influyentes son el diagrama de Pareto, desviación estándar, valor p, resumen del modelo, gráficas de efectos principales, de superficie y de contorno.

6.1.1 Resultados de Par Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto de Par. En la Figura 26 se evidencia que los factores más influyentes están de color azul mientras que los que no intervienen significativamente se encuentran en barras de color gris por lo que no se incluyen en el modelo de estudio, para este caso el par se ve directamente influenciado por los tres principales factores que son octanaje del combustible, alcohol y rpm.

Figura 26

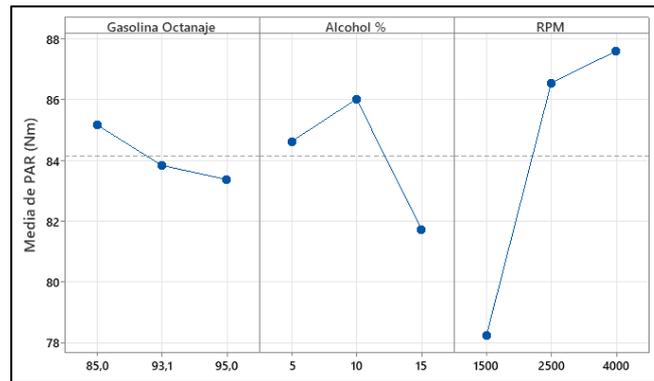
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del par



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales de Par. En la Figura 27 se puede notar que el combustible de 85 octanos presenta una pequeña mejora y que conforme el octanaje sube el par se ve afectado gradualmente, en caso de el alcohol el mejor rendimiento lo podemos observar con un 10% de metanol, mientras que si añadimos un mayor porcentaje el par se ve afectado negativamente, este acontecimiento se da por que el vehículo utilizado está diseñado para un octanaje de 89 octanos por ende su aprovechamiento no es el óptimo en condiciones de octanaje superiores, por último y no menos importante vemos que las rpm influyen proporcionalmente a medida que estas se incrementan llegando a un punto donde tienen a mantenerse con un pequeño incremento.

Figura 27
Gráfica de efectos principales para el par

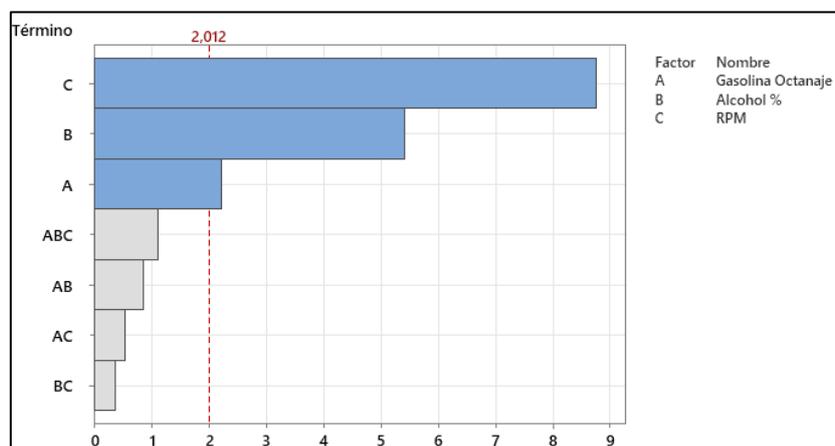


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.2 Resultados de Potencia Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto de Potencia. En la Figura 28 se evidencia que los factores más influyentes están de color azul mientras que los menos importantes que no intervienen significativamente se encuentran en barras de color gris por lo que no se incluyen en el modelo de estudio, para este caso la se ve directamente influenciado en mayor proporción por los rpm, sin descartar que el alcohol y octanaje también tienen influencia en el estudio.

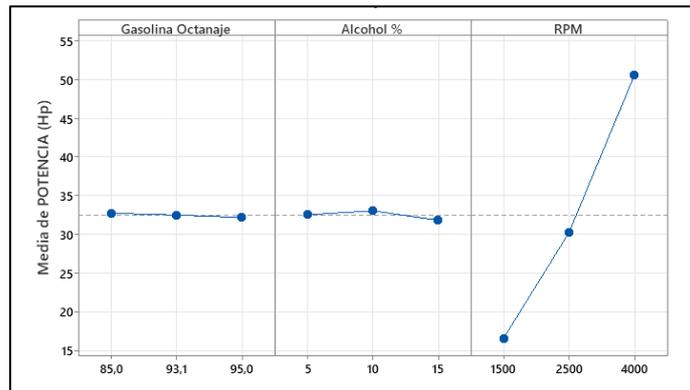
Figura 28
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la potencia



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales de Potencia. En la Figura 29 se puede notar que el combustible no presenta cambios significativos, pero existe una pequeña disminución a medida que sube el octanaje, por lo que se repite lo ocurrido en el par con octanajes superiores al recomendado por el fabricante, en caso de el alcohol los porcentajes de metanol añadidos no generan cambios relevantes pero su mejor versión es con G-90, los rpm para verificar su comportamiento deben llegar a 6000 por lo que esto se verá de mejor manera más adelante.

Figura 29
Gráfica de efectos principales para la potencia

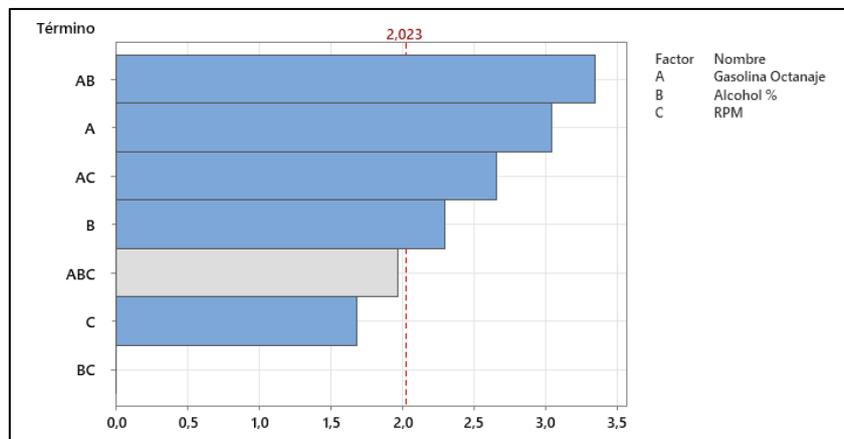


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.3 Resultados de CO Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto de CO. En la Figura 30 se evidencia que la mayor parte de los factores influyen, para este caso la se ve influenciado en mayor proporción por la interacción de los términos del octanaje con el alcohol como predominantes.

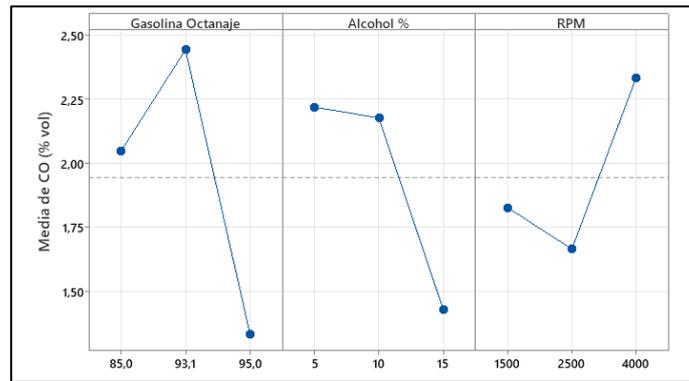
Figura 30
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales de CO. En la Figura 31 se aprecia que el CO tiene su punto más alto con un octanaje de 93.1, mientras que desciende considerablemente al usar un octanaje de 95, en el caso del alcohol para porcentajes de G-95 y G-90 los gases se mantienen por encima de la media, es decir, se entiende que la combustión es incompleta, mientras que si incrementamos el metanol estos tienen a reducirse de manera favorable por ende una mejor combustión, finalmente tenemos que a medias rpm los valores son bajos, pero si subimos a altas rpm también los CO aumentan por la carga de motor efectuada.

Figura 31
Gráfica de efectos principales para CO

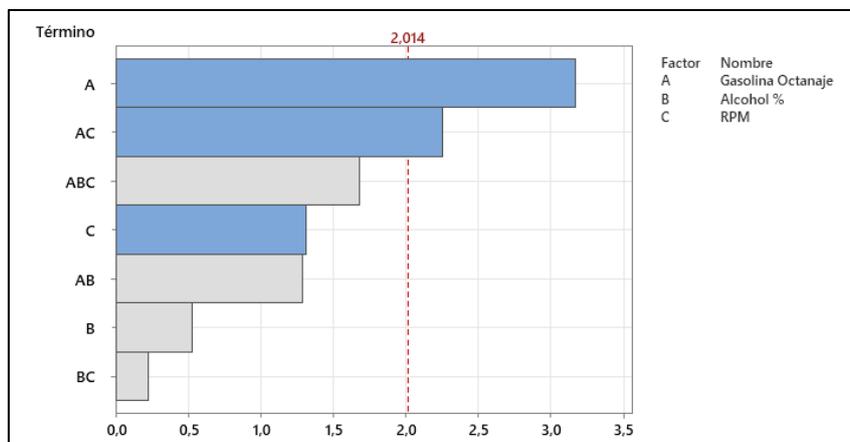


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.4 Resultados de CO₂ Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto de CO₂. En la Figura 32 se evidencia que los factores más influyentes están de color azul, para este caso la se ve influenciado en mayoritariamente por tres factores los cuales se visualizan en orden jerárquico siendo el octanaje el principal.

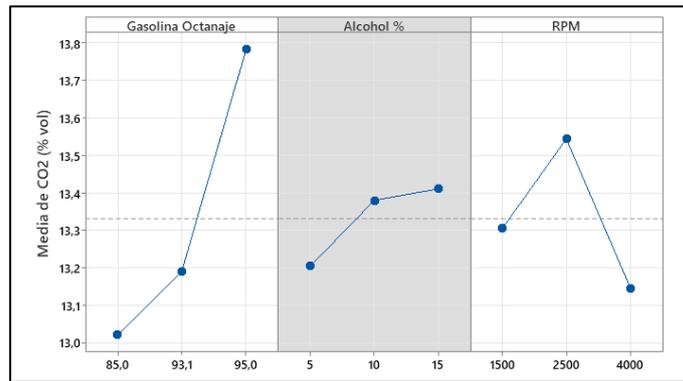
Figura 32
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de CO₂



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales CO₂. En la Figura 33 se aprecia que el CO₂ se mantiene en valores bajos para el combustible de 85 octanos y tiende a crecer a medida que el octanaje sube, es decir que para un octanaje de 95 estos gases se incrementan considerablemente, en este caso el alcohol no influye de manera considerable siendo la mejor opción un incremento de 5% de metanol para mantener bajas estas emisiones, en este caso a medias rpm los valores son mayores, pero disminuyen en gran parte al mantener unas altas revoluciones.

Figura 33
Gráfica de efectos principales para CO₂

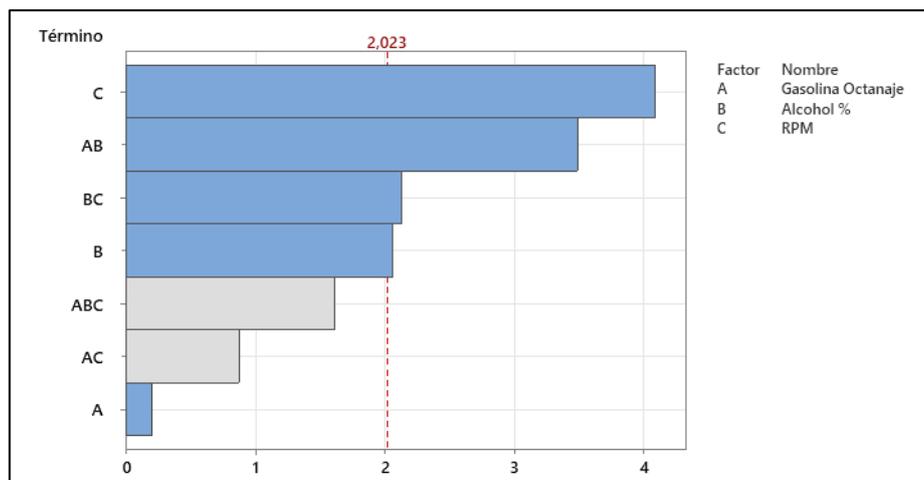


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.5 Resultados de HC Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagramas de Pareto de HC. En la Figura 34 se enseña que la mayor parte de los factores influyen, siendo influenciado en mayor proporción los rpm y por la interacción de los términos del octanaje con el alcohol como sobresalientes.

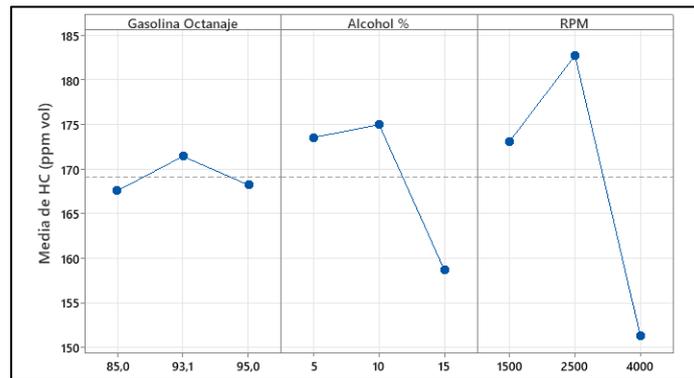
Figura 34
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de HC



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales HC. En la Figura 35 se muestra con el octanaje no es tan influyente en la variación de los HC, sin embargo, tienen a incrementarse al usar un octanaje de 93.1, en caso del alcohol los incrementos de G-95 y G-90 hacen que estos gases suban, pero si usamos una mezcla G-85 podemos bajar en gran proporción estos valores, finalmente las revoluciones bajas y medias dan valores por encima de la media, pero a medida que llegamos a revoluciones altas estos valores defienden drásticamente.

Figura 35
Gráfica de efectos principales para HC

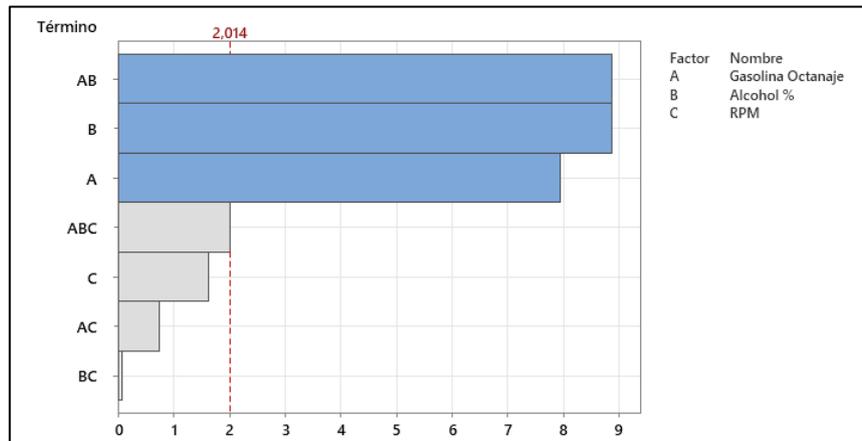


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.6 Resultados de O₂ Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto de O₂. En la Figura 36 se evidencia los factores más influyentes de color azul, donde la influencia total se presenta por los factores de octanaje, alcohol y una combinación de los dos.

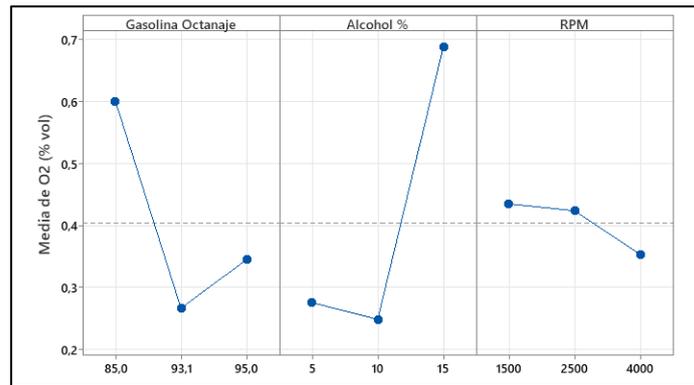
Figura 36
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de O²



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales de O₂. En la Figura 37 se observa que con un combustible de 85 octanos los O₂ son mayores, mientras que para octanajes mayores como de 93.1 los valores bajan considerablemente, el alcohol en porcentajes de G-95 y G-90 mantienen este gas bajo la media, pero a un porcentaje de 15% de metanol los valores suben drásticamente, eso se debe a que incrementar los porcentajes de alcoholes van a oxigenar más la mezcla obteniendo como resultado altos contenidos de O₂ con el porcentaje de metanol más alto, en este caso las revoluciones no influyen en gran parte, no obstante, a mayor rpm es menor el valor de estos gases.

Figura 37
Gráfica de efectos principales para O_2

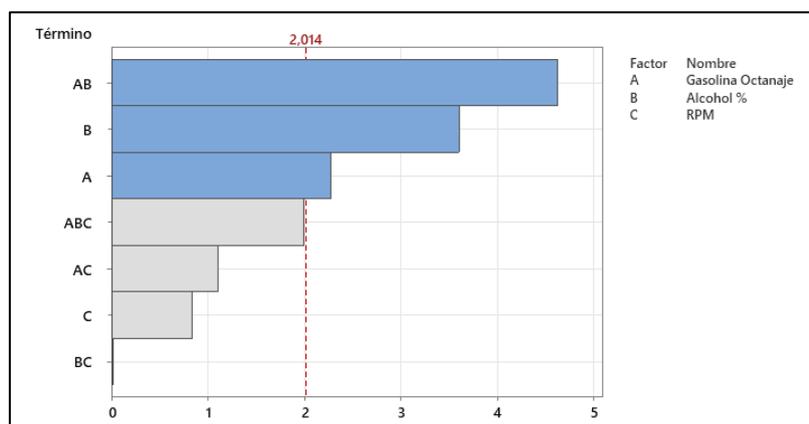


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

6.1.7 Resultados del Factor Lambda Obtenidos en el Diseño Factorial

Diagrama de Pareto del Factor Lambda. En la Figura 38 se denota los factores más influyentes con color azul, donde la influencia total se presenta por los factores combinados de octanaje con alcohol y también por los mismos, pero de forma independiente.

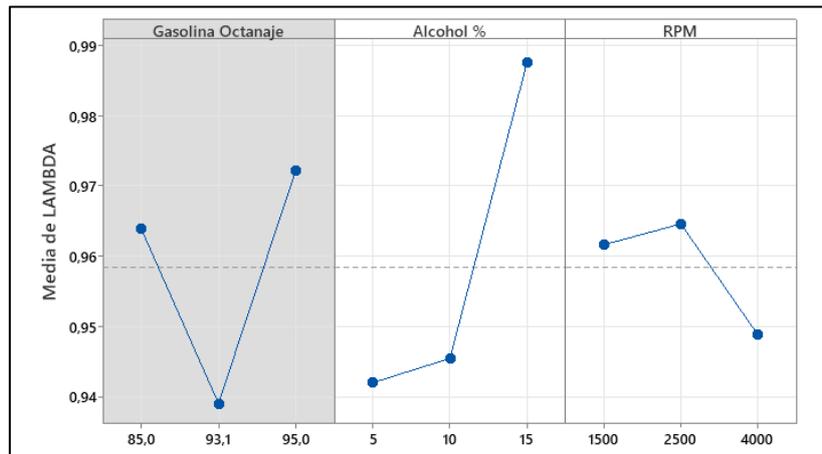
Figura 38
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Lambda



Nota: La barra gris representa los términos que no están en el modelo.

Gráfica de Efectos Principales de Lambda. En la Figura 39 se muestra que hay una pequeña variación al usar combustible de 85 octanos, sin embargo, se reducen estos valores con un octanaje de 93.1, y tienen a incrementarse al usar octanaje de 95, en caso del alcohol en porcentajes de 5% y 10% se mantienen por debajo de la media, pero se incrementan al usar un 15% de metanol, para las revoluciones bajas y medias se puede apreciar que están cerca de la media, pero su suben a altas revoluciones este factor decae considerablemente.

Figura 39
Gráfica de efectos principales para Lambda



Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

Valor p del Modelo. En la tabla 7 se aprecia el análisis de varianza que tiene este estudio con el valor p, de los cuales se deduce que el par, la potencia, el O₂ y el factor lambda son los términos considerables en el modelo, es decir que estos términos tienen una relación significativa con las variables de respuestas, para determinar si esto es comprobable se debe revisar el resumen total del modelo que se describe luego de este.

Tabla 7
Análisis de varianza de valor p

Fuente	Par	Potencia	O ₂	Valor (p)				Lambda
				CO	CO ₂	HC		
Modelo	0	0	0	0	0.003	0	0	
Lineal	0	0	0	0.002	0.006	0.001	0.001	
Gasolina Octanaje	0	0.032	0	0.004	0.003	0.839	0.028	
Alcohol %	0	0	0	0.027	0	0.046	0.001	
Rpm	0	0	0	0.101	0.197	0	0	
Interacciones	0	0	0	0.001	0.029	0.04	0	

Nota: Tabla adaptada del software Minitab.

6.1.8 Resumen del Modelo Factorial

En la tabla 8 se puede examinar el resumen general de los términos tomados para el modelo, empezando por la desviación estándar donde se encuentra en valores relativamente bajos a excepción de los HC, lo cual para los demás hace que el estudio sea acertado, en general tenemos que el modelo es confiable y predictivo para los términos de par, potencia y O₂ con valores concluyentes de R² predictivo de 93,32%, 99,78% y 85,90% respectivamente, completado a esto se observa que estos términos tienen un porcentaje muy cercano al 100% en

R² y R² ajustado los cual garantiza la fiabilidad del modelo, en los modelos que no se ajustan adecuadamente se entiende que existe valores atípicos que influyen en este estudio.

Tabla 8
Resumen del modelo

Término	Desviación estándar (s)	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (predictivo)
Par	1.14171	94.94%	94.29%	93.32%
Potencia	0.612481	99.83%	99.81%	99.78%
CO	0.946326	61.09%	47.13%	25.41%
CO ₂	0.653431	38.98%	28.13%	12.13%
HC	20.9417	61.21%	47.29%	25.64%
O ₂	0.122672	90.21%	88.47%	85.90%
Lambda	0.0371307	56.59%	48.87%	37.49%

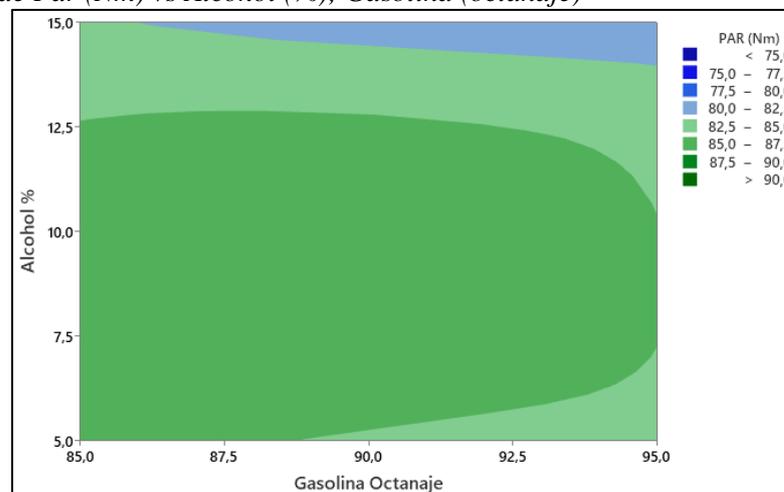
Nota: Tabla adaptada del software Minitab.

6.1.9 Gráficas y Ecuaciones de los Valores más Representativos del Modelo

En base al análisis anterior podemos enfocarnos en los términos de los valores válidos del modelo, los cuales se detallan a continuación para entender su importancia.

Gráfica de Contorno del Par. La Figura 40 muestra la gráfica de contorno del par respecto a las variables de alcohol y octanaje del combustible, se puede apreciar que los factores más influyentes están el porcentaje de alcohol desde un 5% de hasta 12.5% mientras que si sobrepasamos estos valores el par se ve afectado, es decir, un menor par general se ve reflejado en la gasolina de 95 octanos, el motivo se da porque el vehículo está diseñado para 89 octanos y en valores por encima no son aprovechados de la mejor manera, además de tener una relación de compresión baja antes descrita y su desgaste natural por su funcionamiento.

Figura 40
Gráfica de contorno de Par (Nm) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)

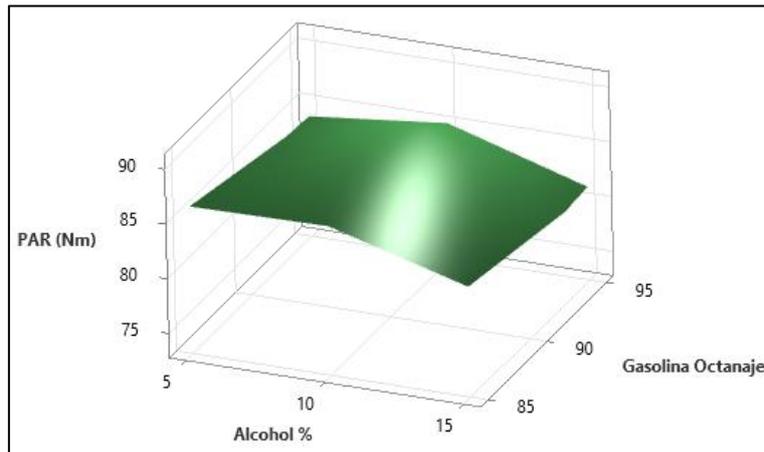


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

Gráfica de Superficie del Par. La Figura 41 nos muestra la gráfica de superficie del par donde se observa el similar comportamiento a la de contorno, pero en general se aprecia de mejor manera que la mezcla de los combustibles independientemente del octanaje con un 10% de alcohol genera el mayor par posible.

Figura 41

Gráfica de superficie de Par (Nm) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)



Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

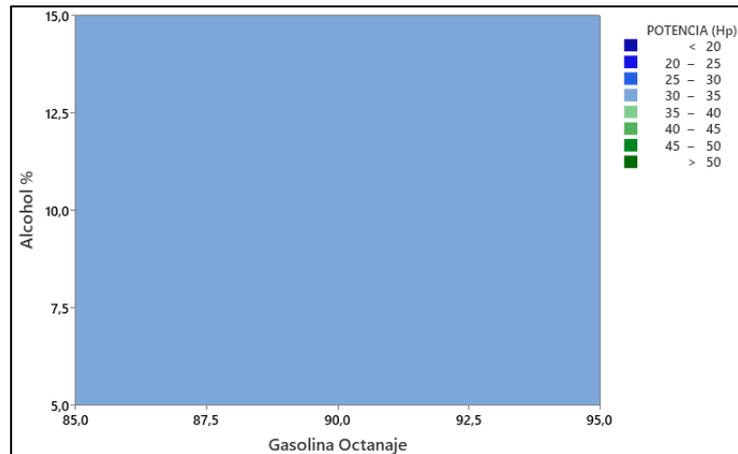
Ecuación de Regresión del Par. En la siguiente ecuación de regresión se puede observar de forma algebraica los factores del par que influyen en el estudio.

$$\begin{aligned}
 \text{Par (Nm)} = & 84.128 + 1.039 \text{ Gasolina Octanaje}_{85.0} - 0.287 \text{ Gasolina Octanaje}_{93.1} \\
 & - 0.753 \text{ Gasolina Octanaje}_{95.0} + 0.499 \text{ Alcohol \%}_{5} + 1.892 \text{ Alcohol \%}_{10} - 2.391 \text{ Alcohol} \\
 & \%_{15} - 5.890 \text{ RPM}_{1500} + 2.425 \text{ RPM}_{2500} + 3.465 \text{ RPM}_{4000}
 \end{aligned}$$

Gráfica de Contorno de Potencia. La Figura 42 muestra la gráfica de contorno de la potencia respecto a las variables de alcohol y octanaje del combustible, se puede apreciar que estos factores mantienen un semejante comportamiento en todas las mezclas, esto se debe a que los valores máximos de potencias se pueden apreciar a cerca de 6000 rpm por lo que su variación es imperceptible y esto se verá verificado en las curvas de potencia descritas más adelante del documento.

Figura 42

Gráfica de contorno de Potencia (Hp) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)

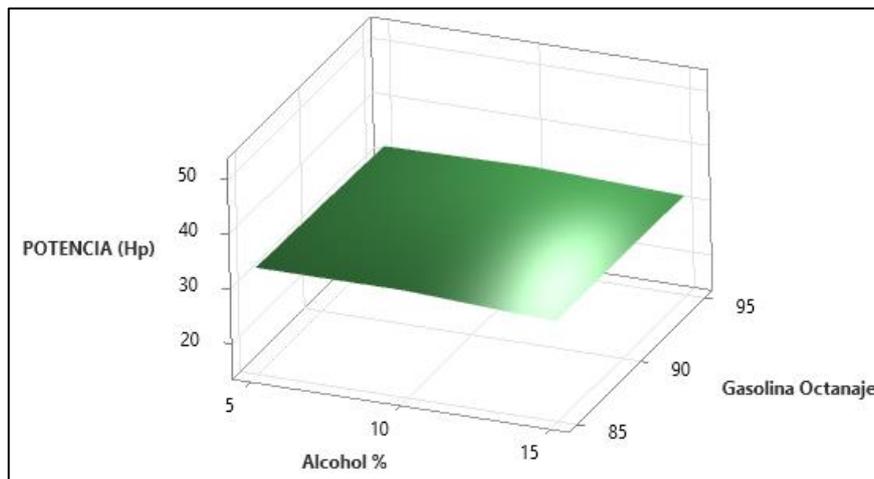


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

Gráfica de Superficie de Potencia. La Figura 43 nos muestra la gráfica se superficie donde se observa un igual comportamiento a la de contorno, por lo que podemos concluir que la potencia en este motor no se ve alterada por el porcentaje de alcohol, ni por el octanaje del combustible sin llegar a altas rpm.

Figura 43

Gráfica de superficie de Potencia (Hp) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)



Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

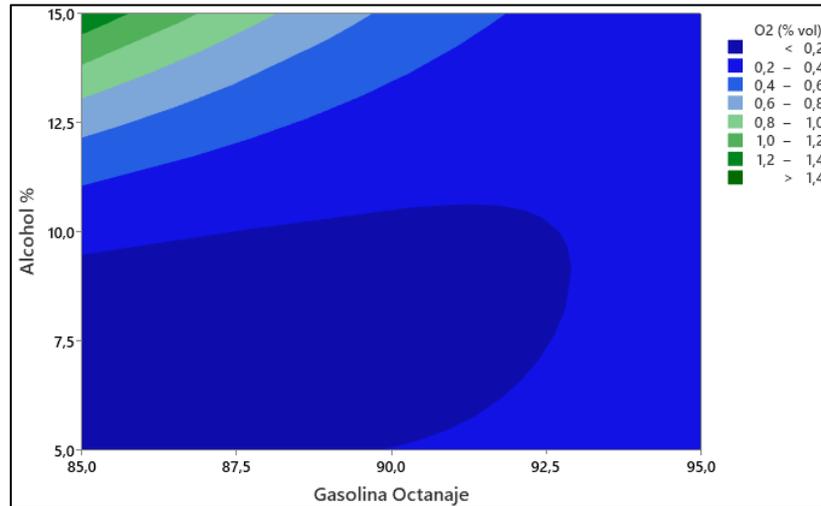
Ecuación de Regresión de Potencia. En la siguiente ecuación de regresión expresa de forma algebraica los factores de la potencia que influyen en el estudio.

$$\text{Potencia (Hp)} = 32.4606 + 0.267 \text{ Gasolina Octanaje}_{85.0} + 0.021 \text{ Gasolina Octanaje}_{93.1} - 0.288 \text{ Gasolina Octanaje}_{95.0} + 0.068 \text{ Alcohol \%}_{5} + 0.567 \text{ Alcohol \%}_{10} - 0.636 \text{ Alcohol \%}_{15} - 15.822 \text{ RPM}_{1500} - 2.232 \text{ RPM}_{2500} + 18.053 \text{ RPM}_{4000}$$

Gráfica de Contorno de O₂. La Figura 44 muestra la gráfica de contorno de O₂ respecto a las variables de alcohol y octanaje del combustible, se puede apreciar que incrementan los valores de O₂ con la mezcla de altos contenidos de alcohol en el combustible de 85 octanos esto se debe a que el metanol y el etanol contienen moléculas de oxígeno en su composición haciendo que este parámetro tienda a subir.

Figura 44

Gráfica de contorno de O₂ (% vol.) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)

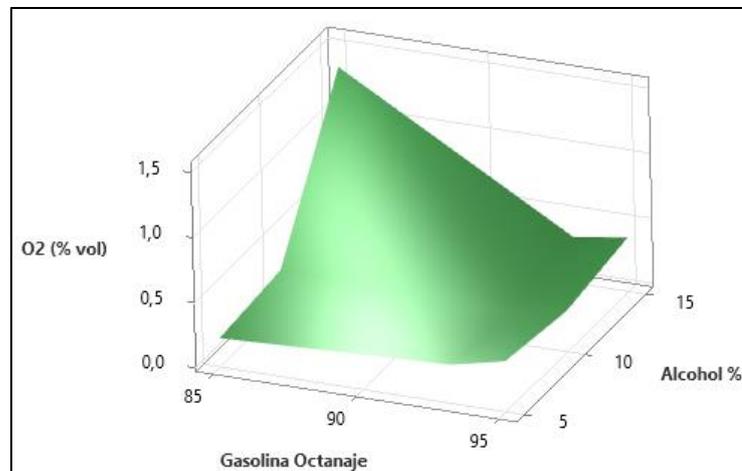


Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

Gráfica de Superficie de O₂. La Figura 45 nos muestra la gráfica se superficie donde se observa el similar comportamiento a la de contorno, por lo que podemos deducir que los valores en esta prueba se mantienen bajos a excepción de con la mezcla de G-85, en el combustible de 85 octanos es donde mejor se puede apreciar este comportamiento.

Figura 45

Gráfica de superficie de O₂ (% vol.) vs Alcohol (%); Gasolina (octanaje)



Nota: Gráfica obtenido del software Minitab

Ecuación de Regresión de O₂. A continuación se puede observar la ecuación de regresión de los factores que más influyen en el estudio en forma algebraica, para este caso apreciamos que también interviene un efecto combinado entre el alcohol y el octanaje.

$$\begin{aligned}
 O_2 (\% \text{ vol.}) = & 0.4043 + 0.1957 \text{ Gasolina Octanaje}_{85.0} - 0.1370 \text{ Gasolina Octanaje}_{93.1} - 0.0587 \text{ Gasolina Octanaje}_{95.0} - 0.1281 \text{ Alcohol } \%_5 - 0.1548 \text{ Alcohol } \%_{10} + 0.2830 \text{ Alcohol } \%_{15} - 0.2769 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{85.0} 5 - 0.1902 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{85.0} 10 + 0.4670 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{85.0} 15 + 0.1309 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{93.1} 5 + 0.0943 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{93.1} 10 - 0.2252 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{93.1} 15 + 0.1459 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{95.0} 5 + 0.0959 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{95.0} 10 - 0.2419 \text{ Gasolina Octanaje*Alcohol } \%_{95.0} 15
 \end{aligned}$$

6.2 Análisis de las Curvas Obtenidas

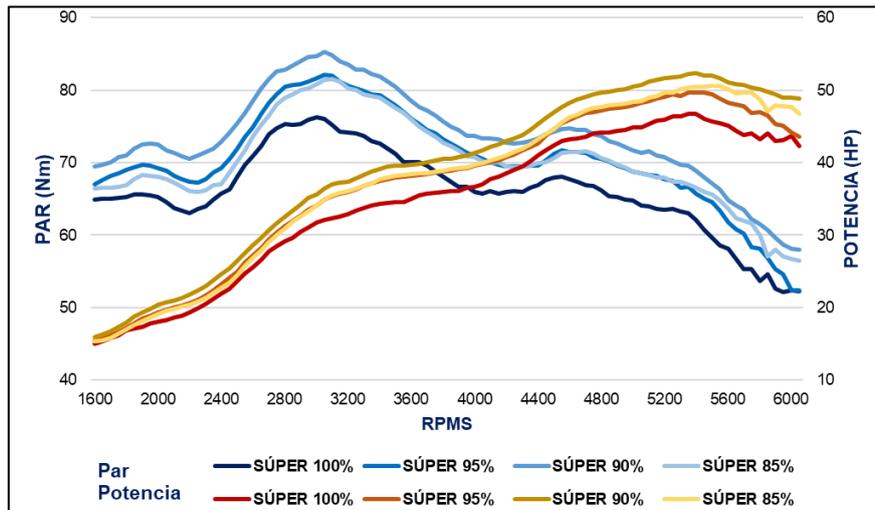
Las curvas características de par y potencia obtenidas a través del banco dinamométrico son procesadas en el software Excel, estas se generan a partir de gasolina súper premium de 95 octanos, súper-extra de 93.1 octanos y extra de 85 octanos, expresadas en 100%, 95%, 90% y 85% por su porcentaje de metanol que contienen respectivamente.

6.2.1 Par y Potencia con Diferentes Mezclas

Curvas de Súper Premium. En la Figura 46 se muestra las curvas generadas con la gasolina súper premium, en las curvas de par se aprecia que el valor más relevante se presenta en la mezcla de súper 90% con un máximo de 85.26 Nm a 3000 rpm aproximadamente, seguido por los valores máximos de 82.13 Nm y 81.57 Nm para las mezclas de 95% y 85% respectivamente, dejando por último a la súper 100% con un valor de 76.31 Nm siendo este el más bajo. Para la potencia se denota que los valores siguen un similar comportamiento de lo emitido por el par, es decir, el valor más alto se encuentra presente en la mezcla de 90% donde se tiene 52.37 Hp a 5400 rpm aproximadamente, por consiguiente, se tiene los valores máximos de 49.71 Hp y 50.62 Hp para las mezclas de 95% y 85% correspondientemente, con ello la menor potencia se ve reflejado en la súper 100% con un valor de 46.73 Hp.

Figura 46

Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Super Premium

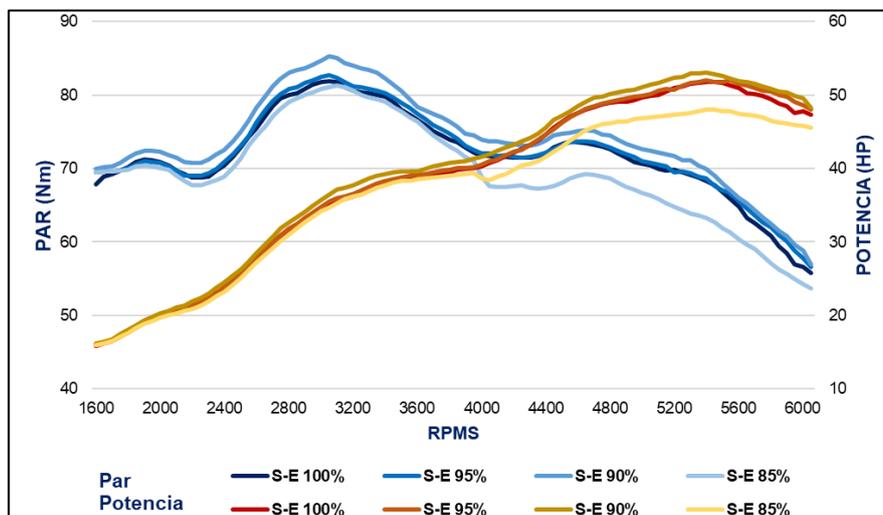


Nota: Gráfica obtenida a través de Microsoft Excel

Curvas de Súper-extra. En la Figura 47 se puede observar las curvas obtenidas con la gasolina súper-extra, en las curvas de par se aprecia que el valor más relevante se presenta en la mezcla de 90% con un máximo de 85.27 Nm a 3000 rpm aproximadamente, seguido por los valores máximos de 82.77 Nm y 81.90 Nm para las mezclas de 95% y 100% respectivamente, dejando por último a la mezcla 85% con un valor de 81.27 Nm siendo este el más bajo. Para la potencia se denota que los valores siguen un similar comportamiento de lo emitido por el par, es decir, el valor más alto se encuentra presente en la mezcla de 90% donde se tiene 53.01 HP a 5400 rpm aproximadamente, por consiguiente, se tiene los valores máximos de 52.03 HP y 51.83 Hp para las mezclas de 95% y 100% correspondientemente, con ello la menor potencia se ve reflejado en la mezcla de 85% con un valor de 48,4 HP.

Figura 47

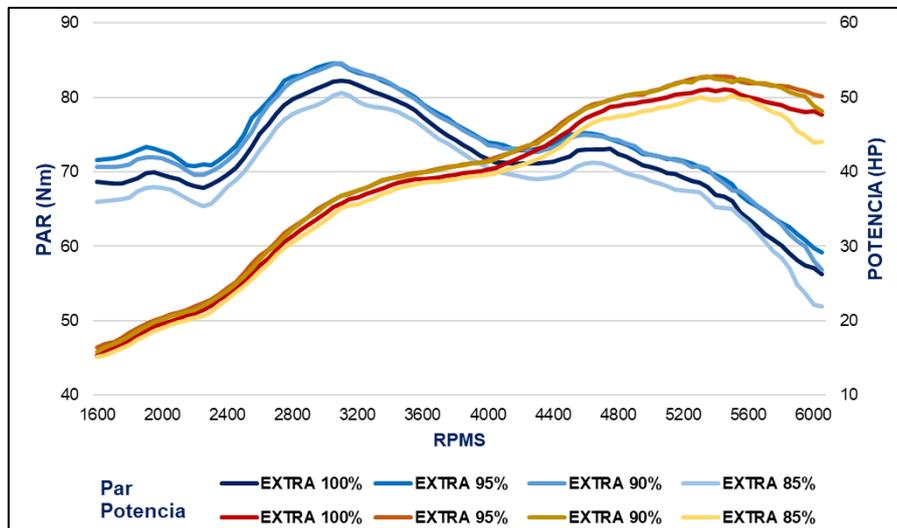
Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Super-extra



Nota: Gráfica obtenida a través de Microsoft Excel

Curvas de Extra. En la Figura 48 observamos las curvas emitidas con gasolina extra, en las curvas de par se aprecia una similitud en los valores más relevantes que se presentan en las mezclas de extra 95% y 90% con máximos de 84.53 Nm y 84.57 Nm a 3000 rpm aproximadamente, seguido tenemos el valor de 82.30 Nm para la mezcla de 100%, dejando por último a la mezcla 85% con un valor de 80,65 Nm como el más bajo. Para la potencia se denota que los valores siguen un similar comportamiento de lo emitido por el par, es decir, los valores más altos se encuentran presentes en las mezclas de 95% y 90% donde se tiene 52.87 Hp y 52.84 Hp a 5400 rpm aproximadamente, por consiguiente, se tiene el valor de 51.06 Hp para 100%, con ello la menor potencia se ve reflejado en la mezcla de 85% con un valor de 50.23 Hp.

Figura 48
Curvas de par y potencia con mezclas de combustible Extra



Nota: Gráfica obtenida a través de Microsoft Excel

6.3 Gases Producidos por las Mezclas

Estos gases que se crean producto de la combustión y salen por el tubo de escape hacia el exterior del motor, estos tienen impacto en el medio ambiente debido a que la mayoría de estos son contaminantes, su correcta interpretación es esencial para determinar el estado de funcionamiento de un motor (Augeri, 2011).

En la tabla 9 se pueden observar en promedio las emisiones obtenidas respecto a cada mezcla de combustible a través del analizador de gases, en el monóxido de carbono (CO) en este caso se verifica un considerable descenso de los valores al utilizar mezclas con porcentaje de metanol, con una mejor apreciación en las mezclas con gasolina super. En el dióxido de carbono (CO₂) se nota que los valores incrementan con la adición del metanol. En los

hidrocarburos no quemados (HC) se aprecia que la disminución de este gas es evidente al usar los varios porcentajes de metanol en las mezclas de combustible. El oxígeno (O₂) para este valor no se puede dar un análisis efectivo debido a que en las pruebas realizadas se constató que existió una fisura en el tubo de escape, haciendo que los valores se vean alterados por factores externos y no sean los emitidos directamente por el proceso de combustión. La relación lambda determina si la mezcla aire-combustible es estequiométrica o no, en este caso tenemos en términos generales el motor trabaja con una mezcla rica en combustible, pero al añadirle porcentajes de metanol los valores se acercan a la mezcla estequiométrica. Además, de estos gases existen algunos que no están presentes en el estudio debido a que se necesitan instrumentos especializados y el analizador no tiene la capacidad de medirlos.

Tabla 9
Promedio de gases emitidos por combustible empleado.

Mezclas (%)	Gases del motor de combustión interna				
	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)	HC (ppm vol)	O ₂ (% vol)	Lambda
Súper 100	4,15	12,15	190,3	0,27	0,89
Súper 95	1,23	13,88	157	0,43	0,98
Súper 90	1,64	13,63	168	0,29	0,96
Súper 85	1,14	13,83	179,7	0,44	0,98
Súper-Extra 100	3,7	12,17	192	0,3	0,9
Súper-Extra 95	2,11	13,23	186	0,27	0,94
Súper-Extra 90	2,27	13,21	172,5	0,21	0,94
Súper-Extra 85	2,66	13,02	159,8	0,33	0,93
Extra 100	3,01	12,63	245,5	0,56	0,93
Extra 95	2,98	12,77	182,7	0,2	0,92
Extra 90	2,29	13,18	188,5	0,26	0,94
Extra 85	0,53	13,38	158,5	1,75	1,06

Nota: Las mezclas tienen su denominación por los valores agregados de metanol respectivamente.

7. Discusión

El diseño de este proyecto consiste en realizar las mezclas entre los combustibles comerciales y el metanol en porcentajes de 0%, 4.975%, 9.95% y 14.925%, para ello se estableció un procedimiento similar a lo efectuado por Waluyo et al., (2021), en donde realizan un proceso de combinar homogéneamente gasolina-metanol-etanol en valores de hasta 90% de alcohol para un motor de combustión interna de cuatro tiempos, sin embargo, con el fin de conservar los componentes del sistema de alimentación se ha considerado un límite del 14.925% de metanol en este estudio, debido a que el vehículo utilizado es un Chevrolet Corsa Evolution del año 2005 y no está diseñado para el funcionamiento con este tipo de combustibles que pueden ser corrosivos en sus partes internas por donde circula el carburante.

Los resultados obtenidos demuestran que con la mezcla G-90 se presentaron los mayores valores en el par y potencia respecto al combustible G-100, constatando que para el combustible Extra se incrementó un 2.2 Nm de par y 1.7 Hp de potencia, equivalentes a un 2.7% y 3.4% correspondientemente, de igual manera, la mezcla de G-95 tuvo el mismo incremento en el par y un 3,1% en la potencia, en el caso de la mezcla G-85 presenta diferencias, ya que existe una disminución del 2.1% de par y 1.8% de potencia. Los resultados presentados por Collahuazo Lovato (2022) también son favorables, obtiene valores más altos en las mezclas que contienen 5% y 10% de metanol en el combustible, donde el porcentaje sube hasta un 21% y 29% respectivamente, estos efectos elevados respecto a los nuestros se deben a que en su investigación implementó una ECU programable para el diseño de un mapa del motor que establezca parámetros apropiados de carga de combustible y avance de la chispa en función de cada mezcla utilizada.

Para el combustible Súper la mezcla G-90 mostró los mayores valores, con un aumento de 9.7 Nm en el par y 5,5 Hp en la potencia, equivalentes a un 12.8% y 11.7% proporcionalmente, la mezcla G-95 aumenta un 8,1% en el par y un 6.3% en la potencia, finalmente la mezcla G-85 presenta un aumento igual que el anterior en el par y un 8% en la potencia, estos datos se pueden cotejar con los emitidos por Thangavelu et al. (2016) que bajo estas condiciones la mezcla de 10% de metanol obtuvo incrementos del 3%, mientras que Collahuazo Lovato (2022) subió hasta un 19%, como se puede apreciar los altos valores de este último respecto a los nuestros se debe a las modificaciones antes mencionadas.

Así mismo, el combustible denominado Súper-extra, en la composición G-90 presentó un incremento de 3.3 Nm en el par y 1,1 Hp en la potencia, equivalentes a un 4% y 2,1%

respectivamente, de igual manera la mezcla G-95 tienen un aumento de un 1% en el par y un 0.3% en la potencia, en cambio con una mezcla de G-85 se ostenta una caída del 0.9% para el par y 7.2% para la potencia. Esto también permite realizar una discrepancia con los resultados obtenidos por Abu-Zaid et al. (2004) el cual manifiesta que luego de haber realizado pruebas de par y potencia en combustibles con porcentajes de 3% a 15%, llega a la conclusión que los valores obtenidos presentan un incremento del 10% al usar una mezcla de 15% de metanol.

En resumen de los datos anteriores comparados con los descritos por Varshney & Mishra (2016) se llega a contradecir parcialmente, debido a que su estudio dice que mientras más se incrementa el porcentaje de metanol mejor será la potencia obtenida a altas velocidades, lo cual en este estudio se evidencio que cuando se incrementa un porcentaje de 14.925% los valores tienden a bajar paulatinamente en comparación a los valores obtenidos con un 9.95% de metanol, estos resultados en nuestro estudio se deben a que el motor utilizado está diseñado para trabajar solo con gasolinas de 89 octanos, además, de no poseer un sensor de detonación que controle el encendido, haciendo que estos factores no permitan aprovechar de manera óptima las prestaciones que brinda la mezcla denominada G-85.

Los datos de emisiones como el CO₂ se eleva al usar cantidades de metanol en el combustible, se expresa mayoritariamente en la gasolina Súper con una mezcla de G-85, su cantidad en volumen se incrementa un 14%, pese a ello estos valores se mantienen en un rango establecido por las normativas locales, algo parecido sucede en lo descrito por Collahuazo Lovato (2022) en donde los resultados suben un 2,4% usando un 10% y 15% de metanol.

El CO se reducen la proporción de su volumen cuando se añade un porcentaje de metanol, la disminución mayor se evidencia en la mezcla de G-85 con Súper y Extra, el valor baja en un 73% y 82% respectivamente, esto quiere decir que se obtiene una combustión más completa en estas condiciones, comparando con el estudio de Yanju et al. (2008) nos dice que también presenta valores donde el CO disminuye en un 25% al usar metanol en las mismas cantidades.

Los HC decaen a medida que se incrementa el porcentaje de metanol, esta reducción general varía entre 3% y 35.4% siendo la mezcla G-85 de Extra la más favorable, con excepción del combustible Súper, que presenta un descenso pero no es porcentual en proporción al metanol añadido, al generar valores más pequeños nos indican que existe un mejor combustión al usar estas composiciones, según Collahuazo Lovato (2022) podemos expresar que también se denota una reducción de hasta un 5.2% para las mismas cantidades de metanol.

El factor lambda en este experimento se encuentra por debajo de 1 en casi todas las pruebas, es decir, se está trabajando con mezclas ricas en combustible, siendo los compuestos de G-95 y G-85 con gasolina Súper las que se acercan a una mezcla estequiométrica ideal con valores de 0.98 en ambos, sin embargo, en único valor que presenta una mezcla pobre se lo encuentra en G-85 con gasolina Extra, con un factor lambda de 1.06. Esto concuerda con los resultados de Varshney & Mishra (2016) donde nos indica que el metanol baja el poder calorífico del combustible, por ende el consumo sube respectivamente para que exista una combustión más eficiente.

8. Conclusiones

Se realizó un procedimiento con el objetivo de llevar a cabo la combinación de los diferentes tipos de gasolina: Súper Premium, Súper-extra y Extra, con variaciones específicas de metanol en sus composiciones, las cuales se categorizaron en este estudio como G-100, G-95, G-90 y G-85, correspondiendo a porcentajes de metanol respectivamente. La variedad de la cantidad de metanol en estas mezclas permitió obtener una visión completa de cómo influye en la calidad y el desempeño de la gasolina en un motor de combustión interna.

En el proceso de realizar las mezclas del combustible y el metanol se pudo evidenciar que luego de un día estos tienen a separarse producto de su composición poco compatible entre sí, para ello se concluyó que se necesita una pequeña adicción de 0.05 L de etanol por cada litro de mezcla empleada, así esta composición actúa como disolvente permitiendo que la mezcla sea homogénea en condiciones de funcionamiento.

Con el apoyo del laboratorio LACBAL, se llevó a cabo un ensayo de prueba de octanaje de vital importancia en el contexto de la mezcla de combustibles. Este experimento se centró en la combinación de los combustibles Súper y el Extra, dando como resultado una nueva gasolina llamada Súper-extra con resultado de 93.1 octanos. El objetivo es utilizar este valor de octanaje en el proceso del diseño factorial, contribuyendo a una comprensión más profunda de las características producto de la combinación del combustible con el alcohol.

Se estableció un modelo 3^k que considera a los factores (octanaje, porcentaje de metanol y rpm) con 3 niveles cada uno, estos niveles al ser cuantitativos se pueden considerar como bajo, intermedio y alto, en nuestro experimento para el primer factor se usó los valores de 85, 93.1 y 95 de octanaje, el segundo factor determinado en porcentajes del metanol en el combustible y el tercer factor se estableció a 1500, 2500 y 4000 rpm, todo ello con dos réplicas que generan 54 corridas en orden aleatorio, esto facilita el ajuste del modelo de regresión relacionando a la respuesta de los niveles en los factores.

El enfoque de diseño factorial brinda ventajas en la comprensión sobre cómo diversos factores impactan en un resultado específico, además, posibilitó el análisis de las interacciones que se producen entre estos elementos, gracias que nos ofrece un reporte completo de diagramas de Pareto, resumen general, valor p, así mismo las gráficas de efectos, superficie y contorno, este análisis permitió la identificación de cuáles de los factores considerados ejercen una influencia más significativa en el modelo en cuestión.

La mezcla G-90 se presenta como ideal generando el mejor desempeño en los resultados respecto al combustible de referencia sin metanol, en el Extra los valores para el par se incrementaron en un 2.7% los Nm a 3000 rpm, así mismo, la potencia subió un 3.4% los Hp a 5400 rpm, en el caso de la Súper el par aumentó considerablemente un 12.8% los Nm a 3000, además, la potencia tuvo una subida del 11.7% en los Hp a 5400 rpm, de igual manera la mezcla Súper-extra, presentó incrementos de par en un 4% los Nm a 3000 rpm y de potencia un aumento del 2.1% los Hp a 5400 rpm aproximadamente.

El empleo de metanol en los porcentajes definidos para las mezclas de combustible tuvo un impacto notable en la disminución de las emisiones de gases contaminantes, con reducciones que oscilaron entre el 3% y el 83%, siendo el CO el más implicado. Este resultado representa un aspecto altamente beneficioso desde una perspectiva medioambiental, acentúa la importancia de investigar y considerar el metanol como un componente viable en la formulación de combustibles eco amigables.

9. Recomendaciones

Llevar a cabo esta investigación utilizando un vehículo de última generación resulta esencial, ya que posibilita la evaluación de sus capacidades y el análisis minucioso del control electrónico del sistema de inyección y otros sistemas de gestión del motor que se adaptan cuando se emplean variados combustibles.

Realizar las pruebas en un dinamómetro capaz de registrar el consumo en tiempo real de combustible efectivo constituye un procedimiento fundamental, ya que ello simplifica la comprensión de los resultados obtenidos.

Llevar a cabo una exhaustiva inspección del estado en el que se encuentra el motor y sus componentes con el fin de prevenir posibles alteraciones en los resultados, las cuales podrían ser causadas por intervenciones no planificadas en el sistema. Al garantizar que el motor y sus partes estén en un estado adecuado antes de iniciar cualquier experimento o prueba, se establece una base sólida para obtener datos precisos y confiables, lo que es fundamental en cualquier investigación.

Se recomienda la utilización del equipo de protección adecuado para llevar a cabo todas las tareas involucradas tanto en el proceso de mezcla de los combustibles como en la ejecución de las pruebas de funcionamiento. El uso de elementos como guantes, gafas de seguridad, mandiles y respiradores, cuando sea necesario, protege de posibles exposiciones a sustancias nocivas, vapores tóxicos o condiciones adversas producidas por el proceso experimental, minimizando los riesgos de incidentes y accidentes.

Se recomienda efectuar posibles modificaciones en el vehículo al utilizar estos tipos de combustibles alternativos, como por ejemplo usar una computadora programable permite aprovechar al máximo la mejora que pueden ofrecer los alcoholes ligeros en el combustible.

10. Bibliografía

- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH). (2019). Informe Anual de la ARCO 2019. Quito, Ecuador.
- Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos. (2021). Resolución N° ARC-019-2021. Recuperado de <https://www.regulacionhidrocarburos.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2021/01/Resolucion-N.-ARC-019-2021.pdf>
- Abu-Zaid, M., Badran, O., & Yamin, J. (2004). Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines. *Energy & Fuels*, 18(2), 312–315. <https://doi.org/10.1021/ef030103d>
- Agarwal, A. K., Valera, H., Pexa, M., & Čedík, J. (Eds.). (2021). *Methanol: A Sustainable Transport Fuel for SI Engines*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1224-4>
- Aguirre Ibarra, G. M., & Vaca Burgos, L. A. (2017). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas de la gasolina extra aditivada con alcoholes, en la refinería esmeraldas*. Universidad Central del Ecuador.
- ANFAC. (2022). *ANFAC / Categorías publicaciones Informe Anual*. https://anfacs.com/categorias_publicaciones/informe-anual/
- Angamarca Manchimba, A. M. (2020). *Plan de mantenimiento y diagnóstico en motores de encendido provocado (MEP) a base de los gases de escape* [Tesis de titulación, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10721>
- Augueri, F. (2011). *Análisis de los gases de escape de los motores de combustión interna*. CISE electrónica. <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/302-an%C3%A1lisis-de-los-gases-de-escape-de-los-motores-de-combusti%C3%B3n-interna.html>
- Cabezas Jaramillo, W. E., & Moyano Montero, M. (2016). *Facultad de mecánica escuela de ingeniería automotriz*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cárdenas, R., Alba, J., & Chamba, E. (2021). Análisis comparativo del funcionamiento de un motor Fiat Uno 1100cc utilizando gasolina extra y bioetanol. 2021, 1.
- Castelo Valdivieso, J. C., Cepeda Godoy, C. R., Bonilla Novillo, M., Acosta Velarde, J. I., Moreano Sánchez, G. V., Aimacaña Sánchez, Emilia Daniela, & Villalba Ramírez, R. A. (2019). *Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna de encendido provocado (MEP) con combustible extra*,

- e5 y e10 a una altura de 2700 M.S.N.M. | Infociencia.*
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/view/1024>
- Collahuazo Lovato, J. A. (2022). *Análisis del comportamiento de un mci de ciclo otto mediante la implementación de un combustible alternativo para observar el desempeño del motor y la incidencia de las emisiones de gases generadas* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/17998/1/65T00478.pdf>
- Correa, P. M. (2021). Desafío del cambio climático y la contaminación del aire. *Neumología Pediátrica*, 16(4), 157–160. <https://doi.org/10.51451/np.v16i4.462>
- EDGAR. (2022). *CO2 emissions of all world countries* (Website JRC/IEA/PBL 2022 report). Emissions Database for Global Atmospheric Research.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6c10e2bd-3892-11ed-9c68-01aa75ed71a1/language-en>
- Erazo, M., Rodríguez, J., Cabrera, E., Azanza, A., & Sanmartin, P. (2023). Comparativa de gases contaminantes entre vehículos particulares y de servicio público en la ciudad de Loja—Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8, 2631–2648.
<https://doi.org/10.23857/pc.v8i8.5996>
- Freire Romero, D. R., & Loza Rojas, J. A. (2013). *Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte*. Escuela Politécnica Nacional.
- García, R. (2001). *Combustion y combustible | Resúmenes de Termodinámica | Docsity*. Docsity. <https://www.docsity.com/es/combustion-y-combustible-1/8152423/>
- González Hoyos, A. (2017, septiembre). *Estudio del empleo de metano como combustible de sustitución en hibridación de motores diesel* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I. Industriales (UPM). <https://oa.upm.es/49241/>
- Goñi Delión, J. C., & Rojas Delgado, M. G. (2017). Manual de combustibles alternativos y tecnología automotriz. En *Repositorio Institucional—Ulima*. Universidad de Lima. Fondo editorial. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10780>
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022* (p. 524) [Reporte]. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Iliev, S. (2020). *Investigation of the Gasoline Engine Performance and Emissions Working on Methanol-Gasoline Blends Using Engine Simulation* (p. 21). <https://doi.org/10.5772/intechopen.92858>

- Inga Guamán, V. J., & Vidal González, J. E. (2019). *Evaluación del rendimiento de las gasolinas súper y ecopais mediante el ciclo típico de conducción para taxis del Azuay*. Universidad del Azuay.
- Isla, L., Singla, M., Porcel, M. R., & Granada, I. (2019). *Análisis de tecnología, industria, y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.18235/0001638>
- Linares Castro, I. (2023). *Homologación de vehículos en función de sus emisiones* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/392930>
- Loaiza, Y. (2023, febrero 7). El aire contaminado que respiramos en el Ecuador. *GK*. <https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-ecuador-ciudades/>
- Maurya, R. K. (2018). *Characteristics and Control of Low Temperature Combustion Engines: Employing Gasoline, Ethanol and Methanol* (1st ed. 2018). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68508-3>
- Melo Espinosa, E. A., Sánchez Borroto, Y., Ferrer Frontela, N., & Ferrer Frontela, N. (2012). Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina. *Ingeniería Energética*, 33(2), 94–102.
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Cuarta Comunicación Nacional | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo*. UNDP. <https://www.undp.org/es/ecuador/projects/cuarta-comunicaci%C3%B3n-nacional>
- Minitab. (2023). *Soporte técnico de Minitab 21* [Mtbtopic]. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/>
- Montero Mosquera, P. A. (2020). *Análisis de las propiedades de la gasolina súper y ecopais comercializada en la ciudad de Guayaquil al ser mezclado con un aditivo* [Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4236/1/T-UIDE-0054.pdf>
- No, S.-Y. (2019). *Application of Liquid Biofuels to Internal Combustion Engines*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6737-3>
- Nunez, C. (2022, abril 1). *Explicación de qué son los combustibles fósiles*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles>
- Opel. (2005). *Manual de taller Opel Corsa*. [file:///D:/Users/Ricardo%20Cueva/Downloads/manual%20de%20taller%20opel%20corsa%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/Ricardo%20Cueva/Downloads/manual%20de%20taller%20opel%20corsa%20(1).pdf)

- Padilla Avila, D. F., & Guallo Alulema, L. W. (2022). *Análisis del comportamiento dinámico del motor de combustión interna encendido por chispa mediante el uso de instrumentos de medición térmica* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16572/1/65T00439.pdf>
- Patiño López, D. (2023). *Implementación y análisis de un banco de pruebas para motores de combustión interna*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/35588>
- Pérez Darquea, D. G. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>
- Petroecuador. (2022). *Plan implementación nuevas gasolinas*. <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/06/PPT-NUEVAS-GASOLINAS.pdf>
- Petroenergía. (2021, febrero 4). *Ecuador y los Biocombustibles*. Petroenergía. <https://www.petroenergia.info/post/ecuador-y-los-biocombustibles>
- Petroenergía. (2022, marzo 10). *Petroecuador produce combustibles con estándares de calidad de acuerdo a normas ecuatorianas inen*. Petroenergía. <https://www.petroenergia.info/post/petroecuador-produce-combustibles-con-estandares-de-calidad-de-acuerdo-a-normas-ecuatorianas-inen>
- Rodríguez Melchor, J. C. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto* (1 Edición). Innovación y cualificación. S. L.
- Sanmartín, Z., Xavier, J., López, R., & Polivio, W. (2022). *Caracterización fisicoquímica de gasolina mezclada con alcoholes en concentraciones de hasta el 20% en volumen, en la Refinería de Esmeraldas*.
- Sanz Acebes, S. (2022). *Motores*. EDITEX. <https://www.casadellibro.com/libro-motores-2022/9788413218717/12952717>
- Tapia, E. (2023, junio). Ecuador, un entusiasta comprador de autos eléctricos e híbridos. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/carros-electricos-ventas-ecuador-lidera/>
- Thangavelu, S. K., Ahmed, A., & Ani, F. (2016). Performance of Petrol Engine Using Gasoline-Ethanol-Methanol (GEM) Ternary Mixture as Alternative Fuel. *Applied Mechanics and Materials*, 833, 41–48. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.833.41>
- Tipanluisa, L. E., Remache, A. P., Ayabaca, C. R., & Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles

- de dos Calidades. *Información tecnológica*, 28(1), 03–12.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>
- Tripathi, D., & Sharma, R. K. (Eds.). (2021). *Energy Systems and Nanotechnology*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1256-5>
- Varshney, N., & Mishra, D. (2016). *Study of Performance, Exhaust analysis & Future scope of Petrol Engine Using Methanol Blends*. 03(11).
- Verhelst, S., Turner, J. W., Sileghem, L., & Vancoillie, J. (2019). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 43–88.
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.10.001>
- Waluyo, B., Setiyo, M., Saifudin, & Wardana, I. N. G. (2021). Fuel performance for stable homogeneous gasoline-methanol-ethanol blends. *Fuel*, 294, 120565.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120565>
- Yanju, W., Shenghua, L., Hongsong, L., Rui, Y., Jie, L., & Ying, W. (2008). Effects of Methanol/Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine Performance and Emissions. *Energy & Fuels*, 22(2), 1254–1259. <https://doi.org/10.1021/ef7003706>

11. Anexos

Anexo 1. Prueba de octanaje



LACBAL
Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes
LABORATORIO DE ENSAYOS ACREDITADO POR EL SAE
ACREDITACIÓN N° SAE LEN 21-002



**ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL**

INFORME 85 - I - LACBAL - 2023 - 1312

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:		INFORMACIÓN GENERAL			
CLIENTE ID:	RICARDO MIGUEL CUEVA TORRES	NÚMERO DE MUESTRAS:	1	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:	2023-08-04
LOCALIDAD:	LOJA	MUESTREADO POR:	Cliente	ANALIZADO:	Juan Rosas
CORREO ELECTRÓNICO:	ricardo.cueva@unl.edu.ec	N° PROFORMA:	DIQ-P1312-2023	INFORME REALIZADO POR:	Melissa Albuja
TELÉFONO:	096 924 3669	N° FACTURA:	001-003-0078273	ENTREGA DE INFORME	2023-08-09

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
NA	NA	1312-01	Gasolina	Vidrio	900 mL

CONDICIONES AMBIENTALES:			
TEMPERATURA [°C]	15,0 a 22,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	32,0 a 70,0
		PRESIÓN [kPa]	72,4 a 73,2

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDADES	VALOR OBTENIDO
1312-01	Número de octano (RON)	ASTM D2699:2023	---	93,1

** SIN DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS**

AUTENTICACIÓN DEL INFORME



AUTORIZADO Y FIRMADO POR:

MGS. MELISSA ALBUJA
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL

NOTAS ACLARATORIAS

1. Todos los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no todos están acreditados.
2. Los métodos que constan de un "1", son aquellos métodos acreditados. Acreditación N° SAE LEN 21-002
3. Los resultados reportados en este documento corresponden únicamente a los ítems ensayados según se han recibido a menos que se indique lo contrario.
4. Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
5. Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
6. El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra, los resultados son únicamente de la muestra entregada por el cliente.
7. El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
8. En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos establecidos para transporte en la norma ASTM D4057-22.
9. Todos los ensayos se han realizado utilizando la última revisión de los métodos indicados, a menos que se indique lo contrario en el reporte.
10. Las muestras(a) a la que se refieren los resultados obtenidos en el presente documento fueron tomadas por el cliente o por un tercero que actúa bajo la dirección del cliente.
11. El ensayo de determinación del contenido de gomas bajo el método ASTM D581 se expresado como mg/100 ml de contenido de gomas sin lavar con solvente.
12. El ensayo de determinación del número de octano es bajo una modificación en la norma ASTM D2699:2023, debido a que el LACBAL se encuentra en un rango de presión barométrica de 72,6 kPa a 75,9 kPa.

Escuela Politécnica Nacional
Edificio N°17, 5to piso

0963551562

www.lacbal.epn.edu.ec

lacbal@epn.edu.ec

FRP7.801
Edición: 07
Fecha de edición: 2023-06-21

Página 1 de 1

Anexo 2. Prueba de presión de vapor



LACBAL
Laboratorio de Calidad, Ambiente y Medio Ambiente



**ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL**

INFORME 114 - I - LACBAL - 2023 - 1384

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:		INFORMACIÓN GENERAL	
CLIENTE ID:	CUEVA TORRES RICARDO ANGEL	NÚMERO DE MUESTRAS:	2
LOCALIDAD:	LOJA	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:	2023-11-01
CORREO ELECTRÓNICO:	ricardo.cueva@unl.edu.ec	MUESTREADO POR:	Cliente
TELÉFONO:	098243368	ANALIZADO POR:	Juan Posa
		N.º PROFORMA:	012-F-104-2023
		INFORME REALIZADO POR:	Melissa Albuja
		N.º FACTURA:	001-001-0079963
		ENTREGA DE INFORME:	2023-11-07

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
ETANOL	99,9% Botella blanca	1384-01	Gasolina	Plástico	1000	ml
METANOL	99,9% Botella azul	1384-02	Gasolina	Plástico	1000	ml

CONDICIONES AMBIENTALES:		
TEMPERATURA [°C]	15,0 a 22,0	HUMEDAD RELATIVA [%] 32,0 a 30,0
		PRESIÓN [kPa] 72,4 a 73,3

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENLACE	NORMA MÉTODO	UNIDADES	VALOR OBTENIDO
1384-01	Presión de vapor de fluid 27,8 °C	ASTM D323	kPa	27,0
1384-02	Presión de vapor de fluid 27,8 °C	ASTM D323	kPa	28,5

*** FIRMAS DE LOS ENCARGADOS DE LA MUESTRA ***

AUTENTICACIÓN DEL INFORME



AUTORIZADO Y FIRMADO POR:

DINA MELISSA ALBUJA TAPIA
Digitally signed by DINA MELISSA ALBUJA TAPIA
Date: 2023.11.07 09:42:57 -05'00'
MGS. MELISSA ALBUJA
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL

NOTAS ACLARATORIAS:

1. Todos los procedimientos se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 15020, pero no todos están en evidencia.
2. Los métodos que puntúan de un "1", son aquellos métodos acreditados <https://www.lacbal.edu.ec>.
3. Los resultados reportados en este documento corresponden únicamente a los datos entregados según se han recibido y no se ha realizado ningún otro tipo de verificación.
4. Tanto por medio de la representación de tiempo puntual a nivel del presente informe, como por medio del laboratorio (LACBAL).
5. Cuando se aplican, se realizan los ensayos solo en cumplimiento de los métodos de ensayo y métodos de los estándares de origen de la muestra (para comparación del cliente, la comparación importante con la norma técnica vigente ASTM D323).
6. El laboratorio no garantiza la exactitud de los datos, la Escuela Politécnica Nacional no respalda por posibles variaciones ocasionadas por la falta de muestra, los resultados son únicamente de la muestra entregada por el cliente.
7. El laboratorio no cuenta con otros estándares, por lo que todos los estándares son realizados en los estándares de LACBAL.
8. En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (por medio de correo) LACBAL se responsabiliza de acuerdo a los procedimientos establecidos para transportar la muestra ASTM D323-20.
9. Todos los ensayos se han realizado utilizando la última versión de los métodos indicados, a menos que se indique lo contrario en el reporte.
10. Las modificaciones a lo que se indica en los resultados obtenidos son por errores de transcripción, fueron revisados por el cliente según un sistema que actúa bajo la dirección del cliente.

Escuela Politécnica Nacional

0963551562

www.lacbal.epn.edu.ec

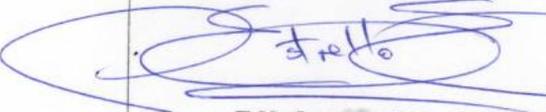
FRP7.001
Edición: 07

Anexo 3. Ficha técnica del metanol

	FICHA TÉCNICA			R-PD-023
	Fecha Emisión	Fecha Revisión	Versión	
	01-06-2018	00	00	

CÓDIGOS: CQMTN-1K0-001; CQMTN-1G0-001; CQMTN-20K-001 METANOL				
Pagina catalogo: 33				
Código	Descripción	Cantidad Caja	Peso caja	Volumen caja
CQMTN-1K0-001	Envase por 1000 ml	20	0.45kg	28.5x37x31.5
CQMTN-1G0-001	Envase por 1 GAL	6	0.45kg	28.5x37x31.5

DESCRIPCION	IMAGEN
<p>El Metanol o Alcohol Metílico es un líquido, inflamable, tóxico, incoloro, en estado puro tiene un olor característico. También se le conoce como alcohol de madera. Es un líquido transparente homogéneo sin presencia de fases ni sustancias</p>	
<p>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</p> <p>pH: 7.13 Densidad: 0.780 g/cm3 Color: incoloro Olor: irritante no alcohólico Grado alcohólico: 99°G.L.</p>	
USO	
<p>Para uso en Laboratorio Clínico como diluyente de colorantes y decolorantes, como combustible en lámparas de alcohol.</p>	
ALMACENAMIENTO Y RECOMENDACIONES	
<p>Mantener el producto en un lugar fresco, seco, bien tapado. Alejado de la luz y el calor. Líquido altamente inflamable y tóxico. a una temperatura de 15°C a 25°C.</p>	

<p>Elaborado por</p>  <p>T.M. Susana Estrella Egas</p>	<p>Aprobado por</p>  <p>BQF María Dolores Montesdeoca</p>
---	---

Anexo 4. Ficha técnica del etanol

	FICHA TÉCNICA			R-PD-023
	Fecha Emisión	Fecha Revisión	Versión	
	01-06-2018	00	00	

**CÓDIGOS: FQETA-1K0-00; FQETA-1G0-00
ETANOL ABSOLUTO ANHIDRO**

Página catálogo: 9

Código	Descripción	Cantidad Caja	Peso caja	Volumen caja
FQETA-1K0-00	Envase por 1000 ml	20	0.45KG	28.5x37x31.5
FQETA-1G0-00	Envase por 1 GAL	6	0.45KG	28.5x37x31.5
	Envase caneca	1	20.35	1

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>El etanol anhidro también conocido como Etanol Absoluto presenta una alta pureza de concentración de alcohol etílico del 99.9%. Es un líquido transparente, sin presencia de fases ni sustancias extrañas.</p>	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
<p>Densidad: 0.80 g/cm³ pH: 7.20 color: incoloro olor: característico</p>	
USO	
Solución para uso en Laboratorio Clínico e Histopatológico.	
ALMACENAMIENTO Y RECOMENDACIONES	
Mantener el producto en un lugar fresco, seco, bien tapado. Alejado de la luz y el calor. Líquido inflamable. A una temperatura de 15°C a 25°C	

<p>Elaborado por</p>  <p>I.Q. Diego Guerrero</p>	<p>Aprobado por</p>  <p>T.M. Susana Estrella Egas</p>
---	---

Anexo 5. Ficha técnica del vehículo

ESPECIFICACIONES CHEVROLET CORSA 1.4 (1998-2007)		
Datos de Fabricación	Fabricante	GM Colmotores
	Ensamble Final en	Bogotá, Colombia
Pesos	Bruto sin A/A (3P/4P/5P)	1320 kg / 1320 kg / 1320 kg
	Bruto con A/A (3P/4P/5P)	1375 kg / 1463 kg / 1395 kg
	Permisible en el eje delantero sin A/A (3P/4P/5P)	675 kg / 740 kg / 675 kg
	Permisible en el eje delantero con A/A (3P/4P/5P)	715 kg / 770 kg / 770 kg
	Permisible en el eje trasero sin A/A (3P/4P/5P)	660 kg / 705 kg / 680 kg
	Permisible en el eje trasero con A/A (3P/4P/5P)	660 kg / 705 kg / 680 kg
Capacidades de Carga	Volumen Baúl (3P/4P/5P)	260 L / 390 L / 280 L
	V. Baúl con el asiento trasero plegado (3P/4P/5P)	650 L / 542 L / 680 L
	Carga Útil (pasajeros y carga)* (3P/4P/5P)	470 kg / 450 kg / 423 kg
	Capacidad de Remolque con Frenos (3P**/4P/5P**)	900 kg / 850 kg / 900 kg
	Capacidad de Remolque sin Frenos (3P/4P/5P)	450 kg / 450 kg / 450 kg
Dimensiones	Ancho con Espejos (mm)	1768
	Largo / Ancho / Alto / Distancia entre ejes (mm) 3P	3729 / 1608 / 1388 / 2443
	Largo / Ancho / Alto / Distancia entre ejes (mm) 4P	4026 / 1608 / 1388 / 2443
	Largo / Ancho / Alto / Distancia entre ejes (mm) 5P	3729 / 1608 / 1388 / 2443
Motor	Código	1.4 MPFI X14XE
	Tipo	Longitudinal Delantero
	Número de Cilindros y válvulas por cilindro	4 en línea 2 válvulas por cilindro (SOHC)
	Orden de Encendido	1 - 3 - 4 - 2
	Diámetro del pistón	77,6 mm
	Carrera del pistón	73,4 mm
	Relación de Compresión	9,5 a 1
	Cilindrada	1388cc
	Revoluciones de ralentí	950 ± 50 rpm
	Potencia Máxima Neta***	83,7 HP a 6000 rpm
Torque Máximo Neto***	113,56 Nm a 3000 rpm	
Caja de Cambios	Relaciones	1a - 3,73:1
		2a - 2,14:1
		3a - 1,41:1
		4a - 1,12:1
		5a - 0,89:1
	R - 3,31:1	
Velocidades recomendadas para cambio de marcha (hasta 1500 msnm / sobre 1500 msnm)	1a a 2a - 15 km/h / 20 km/h	
	2a a 3a - 30 km/h / 35 km/h	
	3a a 5a - 65 km/h / 95 km/h	
Diámetro de Giro	Pared a Pared	10,45 m
	Andén a Andén	9,9 m
Llantas	Rin 13	165/70
Tanque de Combustible	Capacidad	46 Litros ó 12,15 Galones
Frenos	Discos Adelante	Tambores Atrás
Suspensión	Delantera: Independiente, Mcpherson con brazo transversal y tensor longitudinal	
	Trasera: Semi-independiente con eje de torsión	
	Barras estabilizadoras en ambos ejes	
Desempeño:	0 a 100 km/h	12,5 segundos
	Velocidad Máxima	173 km/h
	Consumo Mixto:	6,8l/100km ó 55,6 km/gal

Anexo 6. Certificado de traducción del resumen



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

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "Estimación de las prestaciones de un motor de encendido provocado a través de la mezcla de combustibles alternativos con carburantes comerciales" del estudiante Ricardo Miguel Cueva Torres, con cédula de identidad No. 1105537888, egresado de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad Nacional de Loja.

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

Loja, 09 de noviembre de 2023

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

