



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“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”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

JAVIER ALEJANDRO COLLAGUAZO LOVATO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“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”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JAVIER ALEJANDRO COLLAGUAZO LOVATO

DIRECTOR: Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Javier Alejandro Collaguazo Lovato**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JAVIER ALEJANDRO COLLAGUAZO LOVATO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 2 de agosto de 2022

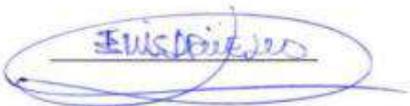
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Javier Collaguazo', is written over a set of horizontal lines. The signature is stylized and somewhat abstract.

Javier Alejandro Collaguazo Lovato

060412625-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: el Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, “**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**”, realizado por el señor: **JAVIER ALEJANDRO COLLAGUAZO LOVATO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Elvis Enrique Argüello PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-08-02
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-08-02
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-08-02

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Titulación está dedicado a mi mamita Carmen quien me formó con valores y me enseñó a esforzarme y a trabajar duro en busca de conseguir mis metas y saber sobrellevar las situaciones adversas que se presentan y sobre todo tener carácter, a mi hermanita Flor quien me ha apoyado siempre y ha sido mi motivación, dedicado a las dos personas que más adoro y amo en la vida y son el pilar fundamental en mi vida, son mis motores que impulsan a seguir en busca de nuevos desafíos a superar.

Javier Collaguazo.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a la ESPOCH por proporcionar docentes de calidad, quienes sin escatimar esfuerzo dotaron de vastos conocimientos para mi formación profesional.

También agradezco a la Carrera de Ingeniería Automotriz, que a través del transcurso de la carrera he contado con el aporte de docentes que han sabido compartir su conocimiento y experiencias, con el fin de formar profesionales de calidad.

Javier Collaguazo.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Justificación.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. <i>Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
1.3.2. <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>
1.4. Hipótesis.....	6
1.5. Estado del arte.....	7
1.5.1. <i>Metanol en el motor de combustión interna (MCI).....</i>	<i>11</i>
1.5.2. <i>Propiedades de la mezcla con la gasolina.....</i>	<i>12</i>
1.5.2.1. <i>Mejora del octanaje.....</i>	<i>12</i>
1.5.2.2. <i>Propiedades de destilación.....</i>	<i>14</i>
1.5.3. <i>Motor que utiliza metanol puro (M100) como combustible.....</i>	<i>17</i>
1.5.4. <i>Factores de inciden en la combustión de MCI SI.....</i>	<i>17</i>
1.5.4.1. <i>Efecto de la relación de compresión en la combustión del motor.....</i>	<i>17</i>
1.5.4.2. <i>Efecto de la velocidad del motor sobre la combustión.....</i>	<i>19</i>
1.5.5. <i>Resultados obtenidos en investigaciones.....</i>	<i>19</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	30
2.1. Método de Investigación.....	30

2.2.	Método Empírico	32
2.3.	Metodología Cuantitativa	33
2.4.	Proceso Metodológico	34
2.4.1.	<i>Desarrollo del proceso metodológico</i>	35
2.4.1.1.	<i>Protocolo para el análisis fisicoquímico</i>	36
2.4.1.2.	<i>Protocolo para la ejecución de las pruebas</i>	50
2.4.1.3.	Protocolo para la evaluación de los resultado.....	54

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	57
3.1.	Resultados de la instalación de computadora programable MS II	57
3.2.	Resultados de análisis de combustibles	58
3.2.1.	<i>Resultados de las pruebas fisicoquímicas del combustible alternativo</i>	59
3.3.	Resultados de emisiones de gases obtenidas con los combustibles alternativos	63
3.4.	Resultados de curvas de torque y potencia obtenidas con el combustible alternativo	69
3.5.	Análisis estadístico	72
3.6.	Discusión de resultados	90

	CONCLUSIONES	93
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	95
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Comparación de las propiedades del metanol y gasolina	9
Tabla 2-1:	Propiedades físicas del metanol	10
Tabla 3-1:	Evolución del reglamento del uso del metanol en la gasolina	16
Tabla 4-1:	Velocidades referenciales del motor	19
Tabla 5-1:	Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 5%	19
Tabla 6-1:	Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 10%	20
Tabla 7-1:	Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 15%	20
Tabla 1-2:	Nomenclatura a considerar para la destilación fraccionada	43
Tabla 2-2:	Límites máximos de emisiones permitidos (prueba estática)	53
Tabla 3-2:	Características principales del motor	54
Tabla 1-3:	Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Extra con N96	59
Tabla 2-3:	Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Extra con N100	60
Tabla 3-3:	Resultados obtenidos de CO con gasolina extra y metanol con 96% y 100%	64
Tabla 4-3:	Resultados obtenidos de HC con gasolina extra y metanol con 96% y 100%	65
Tabla 5-3:	Resultados obtenidos de CO ₂ con gasolina super y metanol con 96% y 100%	66
Tabla 6-3:	Resultados obtenidos de CO con gasolina super y metanol con 96% y 100%	67
Tabla 7-3:	Resultados obtenidos de HC con gasolina extra y metanol con 96% y 100%	68
Tabla 8-3:	Designación de nomenclatura para las diferentes variantes de combustibles	72
Tabla 9-3:	LSD de Fisher para la variable potencia con gasolina extra	74
Tabla 10-3:	LSD de Fisher para la variable torque con gasolina extra	75
Tabla 11-3:	LSD de Fisher para la variable potencia con gasolina super	76
Tabla 12-3:	LSD de Fisher para la variable torque con gasolina super	77
Tabla 13-3:	LSD de Fisher para CO ₂ con gasolina extra	78
Tabla 14-3:	LSD de Fisher para CO ₂ con gasolina super	80
Tabla 15-3:	LSD de Fisher para CO con gasolina extra	81
Tabla 16-3:	LSD de Fisher para CO con gasolina super	82
Tabla 17-3:	LSD de Fisher para HC con gasolina extra	83
Tabla 18-3:	LSD de Fisher para HC con gasolina super	85
Tabla 19-3:	Variantes de combustible aplicadas la corrección en sus puntos máximos	88
Tabla 20-3:	Comparativa global de los resultados de torque y potencia máximos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Resumen de la propuesta de investigación.....	2
Figura 2-1:	Inyección de masa de combustible metanol.....	8
Figura 3-1:	Octanaje de la mezcla gasolina/metanol.....	13
Figura 4-1:	Incremento de octanaje de la mezcla.....	13
Figura 5-1:	Destilación de la gasolina con diferentes proporciones de metanol.....	14
Figura 6-1:	CR en función de la presión y el ángulo del cigüeñal.....	18
Figura 7-1:	Curvas de potencia con 5%, 10% y 15% de metanol.....	21
Figura 8-1:	Resultados de emisiones obtenidas con 5%,10% y 15% de metanol.....	22
Figura 9-1:	Eficiencia térmica a diferentes cargas del motor.....	23
Figura 10-1:	Emisiones de CO a diferentes cargas del motor.....	24
Figura 11-1:	Emisiones de HC a diferentes cargas del motor.....	24
Figura 12-1:	Emisiones de CO ₂ a diferentes cargas del motor.....	25
Figura 13-1:	Emisiones a diferentes cargas del motor.....	26
Figura 14-1:	Potencia del motor a velocidad constante.....	26
Figura 15-1:	Potencia del motor a diferentes CR.....	27
Figura 16-1:	Potencia del motor a diferentes CR.....	28
Figura 17-1:	Potencia de un motor de 4 cilindros en línea.....	29
Figura 18-1:	Torque de un motor de 4 cilindros en línea.....	29
Figura 19-1:	Potencia de un motor con M15 de metanol.....	30
Figura 1-2:	Diagrama del Método de Investigación.....	31
Figura 2-2:	Diagrama Método Empírico.....	33
Figura 3-2:	Diagrama Metodología Cuantitativa.....	34
Figura 4-2:	Diagrama Proceso Metodológico.....	35
Figura 5-2:	Preparación de las muestras de combustible a analizar.....	37
Figura 6-2:	Determinación de los grados API de los combustibles alternativos.....	37
Figura 7-2:	Toma de datos para la Fórmula de Stokes.....	40
Figura 8-2:	Equipo Pensky – Martens para punto de inflamación.....	41
Figura 9-2:	Equipo Koehler para destilación fraccionada.....	42
Figura 10-2:	Realización del ensayo de corrosión a la lámina de cobre.....	44
Figura 11-2:	Placa electrónica <i>MegaSquirt II</i>	45
Figura 12-2:	Proceso para la programación de <i>MegaSquirt II</i>	46
Figura 13-2:	Parámetros de funcionamiento del motor con <i>MS II</i>	47

Figura 14-2: Parámetros elementales para la programación	47
Figura 15-2: Ajuste de carga de combustible	48
Figura 16-2: Ajuste relación aire/combustible (A/F).....	49
Figura 17-2: Ajuste de avance de encendido.....	49
Figura 18-2: Dinamómetro de motor FA 200/30 SP	50
Figura 19-2: Conexión directa entre el estator y eje principal del motor (junta cardán).....	51
Figura 20-2: Interfaz LabView para recolección de datos	52
Figura 21-2: Equipo analizado de gases Kane auto plus 4-2.....	52
Figura 22-2: Motor Chevrolet Aveo 1.6	54
Figura 23-2: Método gráfico para mostrar los resultados de las variables de estudio	55
Figura 24-2: Planteamiento para expresar el análisis estadístico para las variables de estudio.....	56
Figura 1-3: Mapas de motor elaborados para el motor Chevrolet Aveo 1.6L.....	57
Figura 2-3: Monitoreo del funcionamiento del motor con la computadora MS II	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Resultados de CO ₂ con Gasolina Extra.....	64
Gráfico 2-3:	Resultados de CO con Gasolina Extra.....	65
Gráfico 3-3:	Resultados de HC con Gasolina Extra.....	66
Gráfico 4-3:	Resultados de CO ₂ con Gasolina Super.....	67
Gráfico 5-3:	Resultados de CO con Gasolina Super	68
Gráfico 6-3:	Resultados de HC con Gasolina Super	69
Gráfico 7-3:	Curvas de Potencia de los combustibles alternativos de base gasolina Extra.....	70
Gráfico 8-3:	Curvas de Torque de los combustibles alternativos de base gasolina Extra	70
Gráfico 9-3:	Curvas de Potencia de los combustibles alternativos de base gasolina Super	71
Gráfico 10-3:	Curvas de Torque de los combustibles alternativos de base gasolina Super	72
Gráfico 11-3:	Diagrama de caja y bigote para la variable Potencia con gasolina Extra	73
Gráfico 12-3:	Diagrama de caja y bigote para la variable Torque con gasolina Extra	74
Gráfico 13-3:	Diagrama de caja y bigote para la variable Potencia con gasolina Super.....	76
Gráfico 14-3:	Diagrama de caja y bigote para la variable Torque con gasolina Super	77
Gráfico 15-3:	Diagrama de caja y bigote para el CO ₂ con gasolina Extra	78
Gráfico 16-3:	Diagrama de caja y bigote para el CO ₂ con gasolina Super.....	79
Gráfico 17-3:	Diagrama de caja y bigote para el CO con gasolina Extra	80
Gráfico 18-3:	Diagrama de caja y bigote para el CO con gasolina Super.....	82
Gráfico 19-3:	Diagrama de caja y bigote para HC con gasolina Extra	83
Gráfico 20-3:	Diagrama de caja y bigote para HC con gasolina Super.....	84
Gráfico 21-3:	Comparación entre las curvas obtenidas en el dinamómetro de rodillos y motor	86
Gráfico 22-3:	Deducción de fórmula de corrección para las curvas de Potencia	87
Gráfico 23-3:	Deducción de fórmula de corrección para las curvas de Torque	88
Gráfico 24-3:	Compuesto de mejores resultados aplicado la fórmula de corrección.....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Especificaciones técnicas del equipo Flash Point Pensky - Martens
- ANEXO B:** Condiciones de ensayo para la prueba de destilación fraccionada
- ANEXO C:** Especificaciones técnicas del equipo Koehler – K45300
- ANEXO D:** Categorización para resultados de corrosión de lámina de cobre
- ANEXO E:** Especificaciones técnicas para el equipo LAUDA ALPHA A 12
- ANEXO F:** Diagrama eléctrico de conexión MS II programable
- ANEXO G:** Datos técnicos Kane auto plus 4-2
- ANEXO H:** Ficha técnica del motor 1600 cc
- ANEXO I:** Requerimientos Técnicos de la Gasolina Extra
- ANEXO J:** Requerimientos Técnicos de la Gasolina Super
- ANEXO K:** Curvas de destilación fraccionada para la gasolina extra
- ANEXO L:** Curva de destilación fraccionada para la gasolina super

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar si existe mejoría en el desempeño de un motor 1600 cc interpretando las curvas de torque y potencia cuando este entre en funcionamiento con combustibles alternativos, para posteriormente compararlos con los datos emitidos por el fabricante, así como la interpretación de emisiones de gases generados producto de la combustión de estos combustibles. Para esto, se consideró la preparación de los combustibles a diferentes fracciones volumétricas de metanol (M5, M10 y M15), para inmediatamente realizar un estudio minucioso de cada variante de combustible alternativo llegándose a analizar diferentes propiedades de los combustibles, mismos que estarán sustentados con la ejecución de cada ensayo de laboratorio bajo normativas NTE INEN que permitan posteriormente ser comparados por normativas y requerimientos técnicos de los combustibles derivados del petróleo. La aplicación de cada combustible alternativo en el motor estuvo interrelacionado con la funcionabilidad de una computadora programable *MegaSquirt II*, que permitió elaborar un mapa para el motor, en el cual, permitió establecer parámetros idóneos de avance de encendido e inyección de combustibles que permitió garantizar el estable funcionamiento del motor cuando este entrase en funcionamiento con cada uno de los combustibles que se han propuesto para el análisis, llegando de esta manera a cuantificar las variables de estudios torque, potencia y emisiones en equipos especiales para cada uno de ellos. Concluyéndose, que la pureza del metanol es determinante para poder mejorar las condiciones químicas de los combustibles donde se demostró que la cantidad ideal para mejorar el desempeño del motor fue con 10 por ciento de metanol (M10) con gasolina Extra y Super. Llegando a recomendar que, para afianzar el estudio de combustibles alternativos con fracción volumétrica de metanol, se debe analizar si incrementa o decrece el índice de octanaje a medida que la fracción volumétrica de metanol vaya en aumento.

Palabras clave: <COMBUSTIBLE ALTERNATIVO>, <METANOL>, <TORQUE>, <POTENCIA>, <EMISIÓN DE GASES>, <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)>, <ENCENDIDO POR CHISPA (SI)>, <DINAMÓMETRO DE MOTOR>.

1829-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this study was to analyze if there is an improvement in the performance of a 1600 cc engine by interpreting the torque and power curves when it comes into operation with alternative fuels, to later compare them with the data issued by the manufacturer, as well as the interpretation of gas emissions generated from the combustion of these fuels. For this, the preparation of fuels at different volumetric fractions of methanol (M5, M10 and M15) was considered, to immediately carry out a detailed study of each variant of alternative fuel, analyzing different properties of the fuels, which will be supported with the execution of each laboratory test under NTE INEN regulations that later allow them to be compared by regulations and technical requirements of fuels derived from petroleum. The application of each alternative fuel in the engine was interrelated with the functionality of a MegaSquirt II programmable computer, which allowed the elaboration of a map for the engine, in which it allowed to establish ideal parameters of ignition advance and fuel injection that allowed to guarantee the stable operation of the engine when it came into operation with each of the fuels that have been proposed for the analysis, thus reaching the quantification of the study variables torque, power and emissions in special equipment for each of them. Concluding, that the purity of methanol is determined to improve the chemical conditions of fuels where it was shown that the ideal amount to improve engine performance was 10 percent methanol (M10) with Extra and Super gasoline. Coming to recommend that, to strengthen the study of alternative fuels with volumetric fraction of methanol, it should be analyzed if the octane number increases or decreases as the volumetric fraction of methanol increases.

Keywords: <ALTERNATIVE FUEL>, <METHANOL>, <TORQUE>, <POWER>, <GAS EMISSIONS>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINE (ICM)>, <SPARK IGNITION (SI)>, <ENGINE DYNAMOMETER>.



Lic. Francisco Mantilla Mgs.
0603747809

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación surgió de la necesidad de que se investiguen sobre alternativas de combustibles alternativos que ofrezcan mejores prestaciones para el funcionamiento de un motor de combustión interna (MCI) de encendido por chispa (SI), estos llegarán a reflejarse en primera instancia a través de las propiedades físico – químicas que se obtendrán en el laboratorio. Estos análisis serán aplicados al combustible alternativo que tendrán como base a gasolinas super y extra, mezclados con diferentes fracciones en volumen de metanol (M5, M10 y M15) en diferentes concentraciones (96% y 100%) de pureza del mismo alcohol. Posteriormente estos combustibles alternativos se implementarán en el sistema de alimentación de combustible de un motor de cuatro cilindros de ciclo Otto, centralizándose en aspectos primordiales como; contaminación ambiental y rendimiento del MCI.

Con la implementación del metanol en la gasolina, lo que se espera es obtener un combustible de mejor calidad, dado que el metanol tiene un punto de inflamación menor que el de la gasolina, esperándose que la ignición en la cámara de combustión se genere a una temperatura menor a la que se espera con combustibles fósiles tradicionales, se logrará de esta manera que los índices de concentración de gases producto de la combustión al interior del cilindro muestren condiciones amigables para el medio ambiente, es importante indicar que se realizarán los análisis de emisiones a los gases CO₂, CO y HC.

Las condiciones principales que se tendrán en cuenta para el análisis del rendimiento del MCI dependerán esencialmente del tipo de mezcla del combustible alternativo que se vayan a implementar, esto en trabajo conjunto con una computadora programable de motor que permitirá fundamentalmente modificar parámetros de inyección de combustible y avance de encendido, donde se logrará elaborar un mapa motor que permita tener estabilidad en el funcionamiento del motor y de esta manera se podrán obtener las curvas de torque y potencia a diferentes regímenes de giro del motor esto mediante un dinamómetro de motor.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

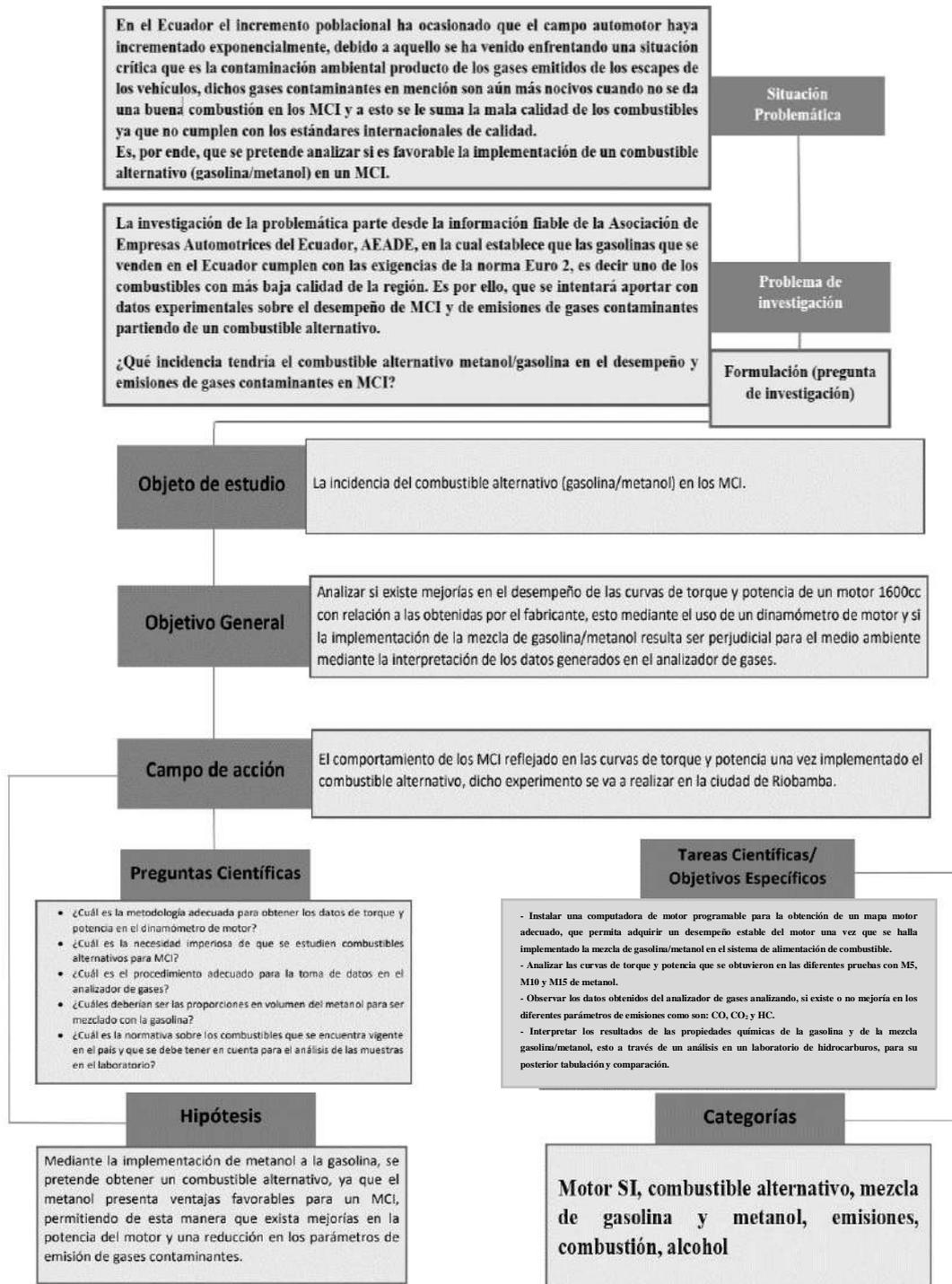


Figura 1-1: Resumen de la propuesta de investigación

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

1.1 Justificación

Si bien es cierto, Ecuador no se ha caracterizado por ser un gran productor de metanol, debido a que el alcohol metílico (metanol) no se ha utilizado con fines de biocombustible, sino que se ha utilizado como disolvente de tintas, tintes, resinas, adhesivos y como anticongelante.

Principalmente, para que se obtenga metanol se requiere de gas natural, en el cual Ecuador es un productor minoritario, pero su aplicativo está destinado para otras áreas de producción.

Ecuador es un productor relativamente pequeño de gas natural dentro del mercado; actualmente, en las estaciones de producción de Petroecuador se han puesto verdadero interés en el gas asociado, utilizándolo para: a) implementarlo como fluido en sistemas motrices de levantamiento artificial, b) turbinas que generan energía eléctrica y c) mantenimientos a través de inyección, entre otros aplicativos.

Se menciona que “el gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra frecuentemente en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón” (Baldeón Mendoza, 2011).

La intervención de organismos gubernamentales es importante, pero también existen empresas privadas que se han dedicado a la generación y obtención de metanol, tales como QUIMPAC ECUADOR S.A y NOVACHEM DE ECUADOR, las cuales son empresas especialistas en productos químicos.

En el país, existen diversas fuentes que permiten la obtención de metanol para lograr obtener combustibles alternativos que permitan ser más amigables con el medio ambiente. Ecuador a pesar de que pertenece a los países categorizados en desarrollo, debería ir desarrollando su campo científico automotriz a través de estudios de los combustibles alternativos que potencialmente podrán ser implementados en vehículos existentes en el medio:

Existe una búsqueda mundial de combustibles alternativos adecuados que puedan reemplazar los combustibles fósiles adoptados actualmente. Dicho reemplazo debe ajustarse a los automóviles existentes sin alterar su rendimiento y características de presentación. Como resultado de la investigación continua, las mezclas de alcohol son tan buenas como gasolina / diésel como combustible para usar en motores de automóviles (Waluyo et al., 2021, p.19).

Mediante estudios previos se han logrado determinar el porcentaje en volumen adecuado de metanol que deberían ser añadidos en la gasolina para evitar la detonación brusca en el motor, los estudios han arrojado que la mezcla de metanol 5%, 10% y 15% exhibieron menos emisiones y golpes en comparación con la gasolina pura. Lo que se logrará obtener es un

combustible alternativo que, con la proporción en volumen adecuada, permitirá tener un mejor desempeño del motor, logrando también verse reflejado en la disminución de los gases contaminantes:

Las ventajas del metanol como combustible para motores de combustión interna (IC) incluyen el calor latente de evaporación que aumenta la eficiencia volumétrica, alta velocidad de llama para aumentar la potencia del motor, baja temperatura de combustión y alta proporción de hidrógeno a carbono que reduce los gases de escape nocivos. Uno de los aspectos más críticos de la gasolina-metanol es la estabilidad durante el almacenamiento y la distribución (Varshney y Mishra, 2016, p.8).

El metanol como combustible aplicable al 100% no es recomendable, debido a que posee un índice de inflamabilidad sumamente alto, lo cual se lo llega a considerar como una ventaja para la obtención de un combustible alternativo que permita una ignición a una temperatura baja, permitiendo que los técnicos de las refinerías de petróleo puedan realizar las combinaciones con la gasolina tal como explican los autores:

Las propiedades únicas que ofrece la mezcla permite a las refinerías petrolíferas y a los técnicos responsables de mezclar la gasolina, producir gasolinas más limpias para reducir las emisiones de los vehículos precursoras del ozono y las partículas en suspensión (PS) en la atmósfera a nivel del suelo (Methanol Institute, 2015, p.13).

Para Ecuador resultaría mucho más rápido y económico la explotación del gas natural para la obtención del metanol, pero aun así no lo es, ya que se deberían reformar los reglamentos para la utilización de combustibles alternativos dependiendo exclusivamente de políticas gubernamentales y sobre todo de una fuerte inversión para lograr esa transición y sustituirla por la costosa industria del petróleo, como lo indican los autores:

Para los países en desarrollo, la mezcla de metanol en la gasolina es uno de los métodos más rápidos y económicos tanto para sustituir la cara energía del petróleo usada en el parque automotor de vehículos de tráfico por carretera usados actualmente, como para la reducción de las emisiones de los vehículos que conducen a la contaminación del aire, como el ozono, el monóxido de carbono (CO), los agentes tóxicos atmosféricos y las PS (Methanol Institute, 2015, p.14).

Los estudios sobre la implementación del metanol en la gasolina llevan años de avances científicos en términos de análisis, como lo son en casos puntuales en zonas de países europeos Alemania y asiáticos como China, a tal punto que se han llegado a establecer estrategias de distribución y almacenamiento de este combustible alternativo de base gasolina, como lo han indicado los autores:

Durante el transcurso de los años, el metanol se ha ido mezclado con la gasolina en las refinerías, desde donde se distribuía a través de oleoductos, gabarras y trenes a las terminales de distribución de combustible del mercado. Cuando la distribución de refino de mezclas de gasolina con metanol no está disponible, la premezcla de metanol (incluyendo los codisolventes y los inhibidores) se mezcla en las mismas terminales de distribución para llenar los camiones cisterna que llevan la gasolina a las gasolineras (Methanol Institute, 2015, p.2).

Estos indicios permiten afirmar, que se pueden implementar estos tipos de combustibles alternativos de base gasolina en los sistemas de alimentación de combustible de los vehículos sin problemas, es decir, sin modificar los componentes que la conforman, esto siempre y cuando se consideren una proporción volumétrica adecuada de metanol para que no llegasen a verse afectados en ninguna circunstancia el funcionamiento del motor. Los autores mencionan que:

Se logró demostrar que, a diferencia de los compuestos aromáticos, la utilización del metanol para aumentar el octanaje de la gasolina tiene ventajas medioambientales, dado que las mezclas de metanol reducen las emisiones de HC, CO, PS y otras emisiones de escape de la mayoría de los vehículos (Methanol Institute, 2015, p.12).

“Una de las principales razones para seleccionar estos combustibles es la similitud en las propiedades de estos con la gasolina y son miscibles con la gasolina sin ninguna separación de fases” (Gohil et al., 2016, p.68).

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador el incremento poblacional ha ocasionado que el campo automotor este en un crecimiento exponencial constante, por lo que a diario se observan gran afluencia de vehículos en grandes y pequeñas ciudades y esto conlleva a la generación de gases contaminantes que son evacuados por cada uno de los tubos de escape de los vehículos. Los combustibles de mala calidad que existen en el mercado contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental, ya que como es de conocimiento el 100% del combustible que ingresa a la cámara de combustión no llega a combustionarse completamente, ocasionando que las partículas de carbono e hidrocarburos lleguen a la atmósfera:

Un caso puntual en Ecuador fue la anunciada por la ensambladora de vehículos de General Motors donde supo manifestar que la mala calidad de los combustibles está afectando a los motores de los automóviles, es por lo que solicitaban a la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH) tomen más atención a esta problemática y se verifique en que parte del proceso se produce la contaminación (Diario La Hora, 2003).

En el presente trabajo se analizará si es favorable la implementación de un combustible alternativo de base gasolina y mezclado con metanol de diferentes concentraciones de pureza, en un motor de combustión interna de ciclo Otto, mediante el estudio de sus curvas de torque y potencia que se lleguen a obtener, así como las emisiones de gases generadas.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

- Analizar si existe mejoría en el desempeño de un motor 1600cc interpretando las curvas de Torque y Potencia cuando este entre en funcionamiento con combustibles alternativos conformados por mezclas de gasolina-metanol, para posteriormente compararlos con los datos emitidos por el fabricante, así como la interpretación de emisiones de gases generados producto de la combustión de estos combustibles.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Instalar una computadora de motor programable para la obtención de un mapa motor adecuado, que permita conseguir un desempeño estable del motor, una vez que se halla implementado la mezcla de gasolina/metanol en el sistema de alimentación de combustible.
- Interpretar los resultados de las propiedades físico - químicas de la mezcla de gasolina-metanol, esto a través de un análisis de laboratorio para su posterior tabulación y comparación.
- Analizar las curvas de Torque y Potencia que se obtuvieron en las diferentes pruebas con fracción volumétrica M5, M10 y M15 de metanol.
- Observar los datos obtenidos con el analizador de gases, analizando si existe mejoras en la concentración de los gases contaminantes CO, CO₂, HC.

1.4 Hipótesis

Mediante la implementación de metanol en la gasolina, se pretenderá obtener un combustible alternativo, debido a que el metanol presenta ventajas favorables y que permiten poderlas implementar sin problemas en MCI, permitiendo de esta manera que se produzca un aumento de potencia del motor y una reducción de los índices de emisión de gases de escape contaminantes.

1.5 Estado del arte

El trabajo investigativo que se desarrollará a continuación, se efectuará partiendo de un análisis profundo bajo dos aspectos que aporten hacia el desarrollo de la industria automotriz en el país como lo son: a) contribuir a la preservación del medio ambiente y, b) buscar alternativas para el mejoramiento de los combustibles, debido a que se aportará a la sociedad mediante estudios científicos que permitirán a futuro retomar estudios bajo esta misma temática; implementación de metanol en gasolinas existentes en el mercado (super y extra), las cuales son de uso común en vehículos livianos.

Debido a la mala calidad de combustibles que se ofertan en el mercado automotor, se menciona que “Ecuador se ha estancado en la normativa de la EURO 2 siendo la única en la región” (ACELERANDO, 2020), debido a aquello no se llega a aprovechar al máximo el rendimiento que podría ofrecer un MCI SI, desembocando de manera directa en las emisiones de gases de escape, donde llegarán a corto plazo a ser un factor que llega a ser sumamente perjudicial para el medio ambiente. Los análisis de los gases contaminantes van a estar sujetos a los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2204, la cual se ajusta a los gases CO, HC, los cuales serán de interés para el análisis experimental.

Es importante señalar que no existen muchas investigaciones de combustibles alternativos con alcohol metílico (metanol), por ende, se puede decir que este trabajo de investigación es único debido a factores de desarrollo que se considerarán para la ejecución del mismo; como es considerar el metanol de 96% y 100% de pureza, estos aplicables en gasolina extra y super a diferentes fracciones volumétricas de metanol, en concreto M5, M10 y M15 que serán implementados en un MCI SI de cuatro cilindros, se contarán con el aliciente de que se instalará una computadora programable de motor, con lo cual, se logrará elaborar un mapa motor que permita establecer la carga de combustible y el avance de la chispa idóneos para la mezcla a implementar, todo esto a realizarse a los 2754 m.s.n.m. de la ciudad de Riobamba.

Es importante mencionar que, esta necesidad surge por diversos motivos, uno de ellos es por la concientización que estamos teniendo los seres humanos con relación a la preservación del medio ambiente, concretamente a contribuir a reducir la contaminación ambiental, uno de los actores principales involucrados en esta problemática es la industria automotriz ya que todo vehículo de combustión interna de Ciclo Otto evacúa gases quemados producto de la misma combustión que se genera en el motor, debido a que en estos gases existe la presencia de CO, CO₂, HC entre otros, que teniendo en cuenta la gran cantidad de vehículos que existen a nivel mundial llegan a ser un problema de gran magnitud. Se han venido realizando estudios con

diversas alternativas de combustibles que permitan ser implementados en MCI de SI sin llegar a comprometer aspectos fundamentales como el desempeño y emisiones del motor, a su vez otro factor importante a más de lo ya mencionado es, que no todos los países a nivel mundial cuentan con fuentes fósiles propias, es decir, fuentes petroleras propias ya que países del primer mundo suelen comprar a países petrolíferos para la fabricación de sus combustibles o simplemente compran los combustibles ya elaborados. Pero como ya es de conocimiento, el petróleo de a poco se está agotando y esto viene siendo una razón de peso, para que se vengán estudiando alternativas para combustibles alternativos, en este caso de derivados de alcoholes. Se menciona que “es necesario desarrollar varios recursos alternativos como gas natural, metanol y biodiesel para reemplazar los combustibles fósiles convencionales (gasolina o diésel) por los motores IC” (Vancoillie et al., 2013, pp.141-142).

Se menciona que “La relación H_2 / CO debe ser cercana a 2 para maximizar la eficiencia y el rendimiento” (Holmgren et al., 2012, p.820).

Un estudio realizado para el análisis del comportamiento del metanol como combustible en M.C.I SI, se consideró un volumen másico, donde partieron desde una temperatura ambiente de $15^{\circ}C$, tal como se logra observar en la Figura 2-1, que a medida que el ángulo del cigüeñal antes de llegar punto muerto superior es menor, se lograra obtener mayor inyección de masa de metanol, esto medido en mg/ciclo. Se define que “ la masa mínima de metanol inyectado a temperatura ambiente para el encendido crítico del motor de metanol SI en diferentes tiempos de inyección de metanol y tiempos de encendido de 20° CABTDC durante el arranque en frío” (Li et al., 2015, pp.3-4).

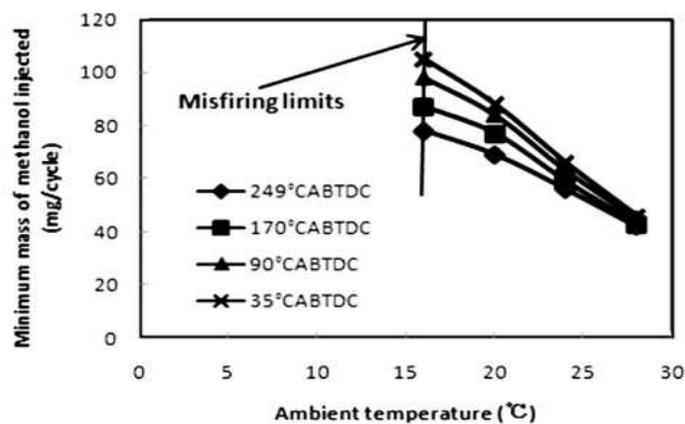


Figura 2-1: Inyección de masa de combustible metanol

Fuente: (Li et al., 2015)

Comparado con los combustibles de hidrógeno y gasolina, el metanol es un combustible de transporte y tiene muchas ventajas significativas. Tiene mejores eficiencias de conversión de combustible que la gasolina gracias al mayor calor de vaporización, así como una resistencia a los golpes mucho mejor que lo convierte en la mejor opción para motores estequiométricos pequeños, turboalimentados, de alta densidad de potencia e inyectados directamente (Boretti, 2013, p.3).

Según establecen algunos autores sobre cómo es físicamente el metanol, tienen sus definiciones propias, pero coinciden en que es un líquido claro que pertenece a la subdivisión del alcohol alifático, es decir, que contiene un 50% de oxígeno en peso.

Se tendrá en cuenta las propiedades físico – químicas de la gasolina y el metanol, para tener una noción de lo que se podría esperar cuando se proceda a aplicar el proceso experimental de la mezcla de gasolina y metanol en el laboratorio. A continuación, se evidenciará en la Tabla 1-1 las propiedades de la gasolina y metanol.

Tabla 1-1: Comparación de las propiedades del metanol y gasolina

Propiedad del combustible	Metanol	Gasolina
Fórmula	CH ₃ OH	C ₅₋₁₂
Peso molecular (g/mol)	32	95-120
Concentración de oxígeno	50%	0
Relación estequiométrica aire/combustible	6,45	14,6
Valor calorífico mínimo (MJ/kg)	19,66	44,5
Valor calorífico máximo (MJ/kg)	22,3	46,6
Punto de congelación (°C)	-98	-57
Punto de ebullición (°C)	64,8	30-220
Punto de Inflamación (°C)	11	-45
Temperatura de ignición espontanea (°C)	465	228-470
Número de octano Reseach	108,7	80-98
Octanaje del motor	88,6	81-84
Numero de cetano	3	0-10
Límites de inflamabilidad (vol)	6,7-36	1,47-7,6
Calor específico (20°C) (kj/kg °K)	2,55	2,3
Calor latente (kj/kg)	1109	310
Viscosidad (20°C) (cP)	0.6	0,29

Fuente: Angelo Basile, 2017

Fuente: (Basile, Angelo, 2017)

Se evidencia que el índice de octano del metanol es mucho mayor al que ofrece la gasolina, ya que debido a esta propiedad se puede aumentar de una manera significativa la relación de compresión tal como mencionan los autores:

Se puede ver que debido a que el índice de octanaje del combustible de metanol es 109, tiene un rendimiento antidetonante más alto. Además, la relación de compresión de la geometría del motor (CR) se puede aumentar significativamente cuando se usa metanol como combustible (Basile y Dalena, 2017, p.102).

Además se establece que, “la mezcla con metanol de alto octanaje logra reemplazar los compuestos aromáticos utilizados tradicionalmente para aumentar el octanaje de la gasolina, y que también contribuyen a las emisiones de escape tóxicas de los vehículos” (Methanol Institute, 2015, p.3).

La importancia de que se conozca a profundidad las propiedades físicas que ofrece el metanol para que se tenga el conocimiento básico para poder manipular de una manera correcta la sustancia al momento de realizar la preparación de las muestras en el Laboratorio de Química, como lo es la solubilidad con el agua tal como nos indica los autores:

Como la mayoría de los alcoholes utilizados en la gasolina, el metanol es completamente soluble en agua y también miscible con hidrocarburos de tipo gasolina. Por lo general, debería haber la presencia de alcoholes codisolventes (etanol, propanoles o butanoles) en la premezcla de metanol utilizada en las mezclas de gasolina para proporcionar suficiente tolerancia al agua (solubilidad), y estabilidad de fase en lugares con temperaturas frías en algún momento del año (Methanol Institute, 2015, p.5).

La Tabla 2-1 proporciona las propiedades físicas del metanol, como se menciona, es muy importante que se conozcan y tenerlas en cuenta al momento de preparar las muestras experimentales. Debido a que en las pruebas de laboratorio se van a realizar pruebas de densidad, viscosidad, punto de inflamación entre otras, que sirven como referencia para posteriores comparaciones estas propiedades serán de gran ayuda.

Tabla 2-1: Propiedades físicas del metanol

Composición Típica	Peso %	Composición Típica	Peso %
Pureza del Metanol	> 99,7	Calor de combustión neto (kj/g)	19,93
Agua	<0,1	Calor Latente de Vaporación kj/g a 25°C	1,16
	PPM	Índice de Refracción 20°C	1,37840
Cloruros como Iones Cl	<0,5	Solubilidad a 20°C (% en miscible	

		peso)	
Azufre	<0,5	Coefficiente de Reparto Octanol	-0,82
Propiedades Típicas	0,792	Intervalo de Inflamabilidad en el Aire (% Volumen)	
Densidad Relativa (20/20 °C)	32 (4,6)	Límite Superior de Inflamabilidad	36,5
Presión de Vapor Reid a 38°C. kpa (PSI)	-97,6	Límite Inferior de Inflamabilidad	6,0
Punto de Inflamación (TCC) °C	12	Viscosidad, Ns/m ² x10 ³ a 20°C (cP)	0,544
Temperatura de Autoignición °C	470	Viscosidad Cinética, m ² /sec a 20°C	7,37x10 ⁻⁷
Punto de Ebullición °C	64,6	Aspecto	Color Claro
Rango de Destilación °C	<1.0	Olor (puro)	Ligeramente dulce

Fuente: (Instituto Metanol, 2015)

Realizado por: Methanol Institute, 2015

Debido a las propiedades que ofrece el metanol y los años dedicados al estudio de esta variante en el combustible se puede asegurar de que la mezcla de gasolina y metanol ofrecerán buen rendimiento al motor de combustión interna (MCI) debido a que se genera una combustión más limpia, eso lo corroboran los autores:

La amplia investigación de productos y la experiencia comercial muestran que la mezcla adecuada de metanol en gasolina puede proporcionar un rendimiento satisfactorio del vehículo a los usuarios finales. De hecho, las mezclas de metanol y gasolina tienen una combustión más limpia que, por lo general, reduce las emisiones de CO, hidrocarburos (HC), PS y otros contaminantes de la mayoría de los vehículos de motor de gasolina (Methanol Institute, 2015, p.6).

1.5.1 Metanol en el motor de combustión interna (MCI)

El metanol mezclado con gasolina comercial existente en el mercado permitiría obtener un combustible más barato y de mejor calidad, llegándose a reconocer que un rango óptimo de metanol bordea entre 5% y 15% en proporción volumétrica. Permittedose tener una combustión mucho más limpia, lográndose reducir los índices de gases contaminantes y a su vez notándose mejorías en el rendimiento del motor, al respecto, esto es lo que menciona el autor:

Si se mezclara metanol con gasolina en una proporción entre 5 y 15%, se tendría mejoras en la economía de combustible, niveles de contaminación y en el funcionamiento de los motores de combustión interna. Esta mezcla entre metanol y gasolina ocasiona que a mediano plazo resulte en incremento en el ahorro de combustible, genera temperaturas más bajas de los gases de combustión, índices más bajos de emisiones de gases, y mejoras en el rendimiento del motor, esto teniendo como referencia al uso de la gasolina sola (pura). Una cantidad de automóviles privados no modificados fueron examinados y operados sobre un curso fijado con variación de concentraciones de metanol. Se encontró que: a) el ahorro de combustible incrementó de 5 a 13%; b) las emisiones de monóxido de carbono disminuyeron de 72% a 14%; c) la temperatura de los gases de combustión disminuyó de 9% a 1%, y d) la aceleración incrementó arriba del 7% (Leiva Bautista, 2011, p.16).

1.5.2 Propiedades de la mezcla con la gasolina

1.5.2.1 Mejora del octanaje

Es fundamental tener en cuentas dos aspectos a la hora de realizar la mezcla de gasolina y metanol: a) el octanaje (octanaje *research*) que va a existir al momento de mezclarse la gasolina y el metanol y, b) el octanaje nominal que va a existir al momento de entrar en funcionamiento el motor.

El octanaje de la sustancia base va a tener un papel predominante, en este caso va a depender del octanaje de la gasolina (Super o Extra), combustibles que se comercializan en el país. Lo que mencionan los autores es lo siguiente:

Los valores de octanaje de la mezcla de etanol (BOV, por sus siglas en inglés) son 129-134 (octanaje nominal Research) y 97-104 (octanaje nominal motor). El BOV real del metanol variará según el índice de octano de la gasolina base y su composición. De acuerdo con el índice de octano de investigación del combustible base, se puede estimar el BOV, como se muestra en la figura. En general, el BOV del metanol en la gasolina sin plomo aumenta a medida que el octanaje del combustible base disminuye (Methanol Institute, 2015. p.7).

La Figura 3-1 indica las líneas de tendencia del octanaje *research* y octanaje motor de la mezcla, ambas producto de la mezcla gasolina y metanol, lo importante a considerar en esta figura es que el octanaje esperado de la mezcla va a depender principalmente del octanaje del combustible base (gasolina). En el país como ya se ha mencionado en

apartados anteriores, para gasolina Extra va a ser de 87 octanos y para gasolina Super de 92 octanos.

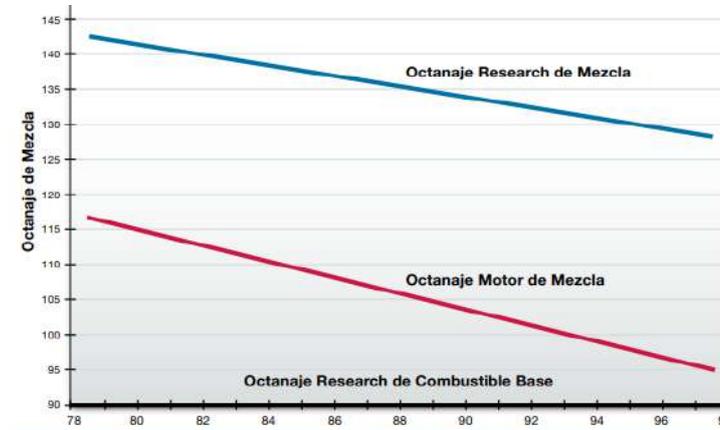


Figura 3-1: Octanaje de la mezcla gasolina/metanol

Fuente: (Methanol Institute, 2015)

El metanol gracias a la temperatura de ebullición baja, la mezcla de combustible metanol está particularmente indicada para la mezcla con gasolinas de alto octanaje, cuyos componentes de alto octanaje (aromáticos) suelen tener puntos de ebullición de entre los más altos de los productos de gasolina. La mezcla de un 15% en volumen de metanol puede aumentar más de 6 octanos Research y unos 3 octanos motor a la producción de gasolina de la refinería (Methanol Institute, 2015, p.4).

La Figura 4-1 indicará en que cantidad incrementará el octanaje de la mezcla, nótese que se expresan las líneas de tendencia de los octanajes *research* y de motor. El incremento de octanaje es directamente proporcional a la fracción volumétrica de metanol que se le agregue a la gasolina, es decir, a medida que se le añada más alcohol metílico (metanol) el octanaje aumentará.

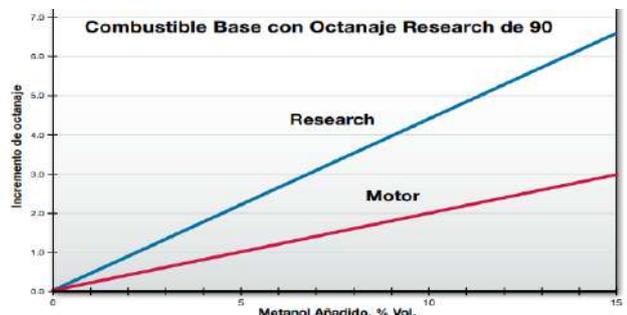


Figura 4-1: Incremento de octanaje de la mezcla

Fuente: (Methanol Institute, 2015)

1.5.2.2 Propiedades de destilación

La propiedad de destilación permitirá observar una particularidad, en la Figura 5-1 se puede observar que a medida que el porcentaje de evaporación va incrementando, la curva de destilación se va a ir aplanando, llegando a formarse curva convexa pronunciada. Es lo que llegan a explicar los autores:

Como otros alcoholes, la mezcla de metanol tiene un efecto azeotrópico en la curva de temperatura de destilación de la gasolina. Esto hace que la curva de destilación de la gasolina mezclada se aplane o "doble" cuando está justo por debajo de la temperatura de ebullición del alcohol añadido (64,6 ° C para el metanol). Por lo general, añadir más alcohol generará mayor efecto de la zona del codo o aplanamiento de la curva de destilación de la mezcla de gasolina justo por debajo del punto de ebullición del alcohol. El efecto de destilación para la adición de 5, 10 y 15% de metanol (Methanol Institute, 2015, p.10).

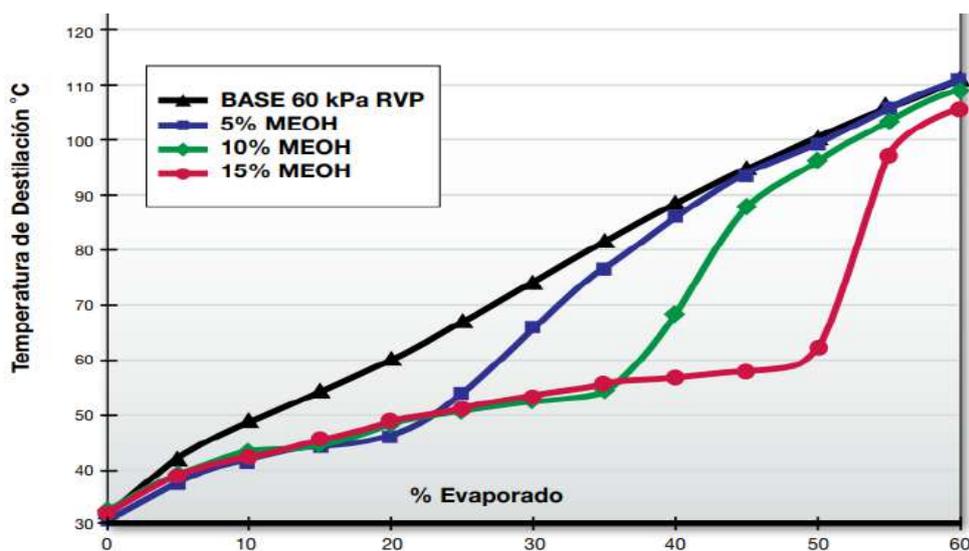


Figura 5-1: Destilación de la gasolina con diferentes proporciones de metanol

Fuente: (Methanol Institute, 2015)

La llegada de vehículos con inyección electrónica al mercado automotor ecuatoriano, ocasionaron que los vehículos con sistema a carburación quedasen relegados, pero sin embargo aún existen vehículos con este sistema, muy pocos, pero aún se encuentran algunos en circulación. Si se implementase este combustible alterativo de gasolina con metanol, en vehículos a inyección electrónica estos funcionarían sin ningún problema, es decir, que no se verían de ninguna manera afectados en su normal funcionamiento.

Se establece que “los sistemas de combustible que se encuentran en la actualidad vigentes basados en inyectores permiten la utilización de una gama más amplia de combustibles de alcohol en el mercado de gasolina sin que afecte negativamente al funcionamiento del vehículo” (Methanol Institute, 2015, p.11).

- Uso en vehículos y resultados

Según los expertos investigadores recomiendan que la proporción de metanol en volumen idóneo para lograr buenos resultados en el normal funcionamiento y lograr obtener resultados satisfactorios, es con una mezcla de gasolina con 15% v/v de metanol (M15). Tal como lo afirman los autores:

Se han utilizado con éxito mezclas con un 15% en volumen de metanol (M15) en varios parques de vehículos de gran tamaño (de unos 1000 vehículos cada uno) en ensayos en ruta durante varios años de duración para que se pueda investigar la durabilidad y rendimiento de la mezcla de combustible. Donde los fabricantes de automóviles lograron determinar que el mezcla M15 era el porcentaje ideal de metanol que podía usarse en el parque de automóviles de aquella época sin que se vieran afectados (o que se vieran poco afectados) el funcionamiento de los vehículos o los materiales de los sistemas de combustible de los vehículos (Methanol Institute, 2015, p.12).

Se menciona que “la mayor importancia es el hecho que arriba del 15% de metanol puede ser añadido a la gasolina comercial en automotores ahora en uso sin necesidad de modificar los motores” (Leiva Bautista, 2011, p.25).

- Generalidades de mezclas de gasolina-metanol

Los vehículos de inyección electrónica vienen configurados para que la inyección de combustible sea exclusivamente de combustibles que son procesados en refinerías, es decir, que están destinados para que funcionen con gasolina pura, bajo estándares de hidrocarburos definidos en cada región. La implementación de la mezcla de gasolina metanol ocasionara que se presenten las siguientes particularidades:

- Debido al constante uso al cual está sometido los diferentes componentes del sistema de alimentación de combustible, suelen estar propensos a que se acumule suciedad, esta suciedad al entrar en contacto con el metanol va a producirse que la misma suciedad se desprenda de las paredes, ocasionando que la tonalidad del combustible alternativo se vea ligeramente diferente y,

- Debido a que hay presencia de alcohol en el combustible va a ser necesario la presencia de un filtro de combustible especial para mezclas de combustible y metanol.

- Regulaciones internacionales de las mezclas de gasolina y metanol

Como se mencionó, en otros países al estar ya involucrados en el estudio de la implementación de alcoholes en la gasolina y en la constante práctica, ya han logrado establecer normativas que regulen el uso de alcoholes en combustibles fósiles. Esto es lo que aseveran los autores:

En muchas regiones del mundo, la mezcla de compuestos oxigenados tales como alcoholes y éteres están controladas por regulaciones gubernamentales que especifican los límites de los compuestos oxigenados permitidos en las gasolinas comerciales. El contenido máximo de oxígeno total de los oxigenados en la gasolina generalmente se determina para mantener y asegurar el correcto funcionamiento de la mezcla de combustible en el parque de vehículos de tráfico por carretera existente en el momento en el que entró en vigor la regulación (Thangavelu et al., 2016, p.41).

La Tabla 3-1 indica una breve reseña de la reglamentación considerada para el uso del metanol en diferentes regiones del mundo, donde se puede observar que a partir de los años ochenta, basándose en diversos estudios el porcentaje de metanol considerado en diversos experimentos ha ido incrementando, hasta que a partir del año 2007 se llegó a implementar el metanol en la gasolina en una fracción volumétrica del 15%.

Tabla 3-1: Evolución del reglamento del uso del metanol en la gasolina

Región de Mercado		Introducción Año	Volumen Máximo % Metanol	Volumen Mínimo % Codisolventes	Máximo Peso % de Oxígeno	Aditivos para Corrosión
Europa	Directiva CE	1985	3,0	>Metanol	3,7%	
Estados Unidos	Sub Sim*	1979	2,75	>Metanol	2,0%	Requerido
Estados Unidos	Exención de Combustible	1981	4,75	>Metanol	3,5%	Requerido
Estados Unidos	Exención de Combustible	1986	5,0	2,5	7,9%	Requerido
China, Shansi	Estándar M15	2007	15,0	Por tolerancia del agua	-	Requerido

Fuente: (Instituto Metanol, 2015)

Realizado por: Methanol Institute, 2015

1.5.3 Motor que utiliza metanol puro (M100) como combustible

El estudio del metanol como opción de combustible para MCI ha ido tomando mucha fuerza con el pasar de los años. Tal es la seriedad en los estudios que existen hay análisis aplicativos en motores no solamente a gasolina sino también en motores diésel para implementar combustible a base de metanol al 100% (M100), al respecto los autores mencionan lo siguiente:

Actualmente, los motores convencionales de gasolina o diésel se pueden modificar para utilizar metanol puro (M100) o de doble combustible (mezclas de gasolina-metanol o diésel-metanol, etc.) mediante algunas técnicas específicas. Los motores de metanol modificado se utilizan ampliamente en varios turismos. Los motores diésel convencionales modificados alimentados con M100 o mezclas (metanol-diésel) se convertirán en la principal alternativa de potencia para los turismos y camiones diésel. El estudio de la combustión y las emisiones es el tema central de la tecnología de ingeniería científica relacionado con el desarrollo de motores de metanol (Basile y Dalena, 2017, p.302).

La implementación de combustible M100 en un motor, fue aplicado en un motor mono cilíndrico, en donde los resultados fueron muy comprometedores favoreciendo el rendimiento y las emisiones de gases:

Celik estudió el uso de metanol puro como combustible a una CR alta en un motor de gasolina de un solo cilindro. Descubrieron que al aumentar el CR de 6: 1 a 10: 1 con metanol, la potencia del motor y el BTE aumentaron hasta en un 14% y un 36%, respectivamente. Además, las emisiones de CO, CO₂ y NO_x se redujeron en aproximadamente un 37%, 30% y 22%, respectivamente (Çelik et al., 2011; citado en Basile y Dalena, 2017).

1.5.4 Factores de inciden en la combustión de MCI SI

1.5.4.1 Efecto de la relación de compresión en la combustión del motor

La relación de compresión (CR) juega un papel muy importante al momento de generarse la combustión en el M.C.I. SI, principalmente inciden dos factores, como lo son: a) el ciclo termodinámico, que fundamentalmente dependerá de la relación de compresión para que la temperatura y la presión se viesen afectadas y, b) la geometría de la cámara de combustión, ya que si esta mientras más pequeña sea la relación de compresión será mucho mayor, pero este fenómeno incidirá de manera directa con la temperatura en la cámara de combustión:

El primer efecto, y obvio, está en el ciclo termodinámico. La presión y la temperatura al final de la compresión se verán afectadas por la relación de compresión, y una relación de compresión más alta aumentará ambos parámetros. La relación de compresión también tendrá un efecto significativo en la geometría de la cámara de combustión, y una relación de compresión más alta a menudo dará como resultado una cámara de combustión con una relación de aspecto más estrecha. Esto significa que la llama entrará en contacto con el pistón antes y esto tenderá a reducir la velocidad de liberación de calor (Winterbone y Turan, 2015, p.221).

Para lograr tener una mejor perspectiva de cómo es que se comporta la relación de compresión se analiza la siguiente figura bidimensional, donde se relaciona la presión y el ángulo del cigüeñal. Se logra apreciar en la Figura 6-1, que mientras la relación de compresión se comporta de una manera creciente esto repercute en que se alcance una presión en su punto máximo, esto a su vez tiene incidencia en la liberación de gases por la válvula de escape, esto lo corrobora el autor:

Puede verse que una relación de compresión más alta da una presión máxima más alta, pero tiene poco efecto sobre la presión de liberación. Además, la relación de compresión más alta aumenta ligeramente la temperatura máxima alcanzada en las zonas quemadas y no quemadas, pero en realidad reduce la temperatura de liberación (en la apertura de la válvula de escape) (Winterbone y Turan, 2015, p.222).

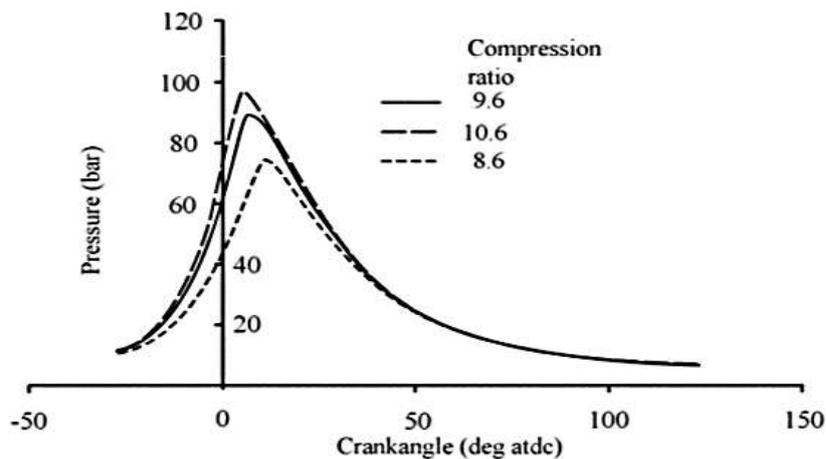


Figura 6-1: CR en función de la presión y el ángulo del cigüeñal

Fuente: (Winterbone y Turan, 2015)

1.5.4.2 Efecto de la velocidad del motor sobre la combustión

El parámetro de velocidad del motor es muy importante tenerlo en cuenta, debido a que la velocidad nos da un indicativo fundamental a la hora de tomar datos, por lo que como referencia se podrían considerar velocidades referenciales, se menciona que “el único parámetro modificado en este caso fue la velocidad del motor, y esto significa que la sincronización del encendido no es la óptima para todas las velocidades” (Winterbone y Turan, 2015, p.201).

Tabla 4-1: Velocidades referenciales del motor

Velocidad de motor baja (rev/min)	2500
Velocidad del motor base (rev/min)	3500
Velocidad del motor alta (rev/min)	4500

Fuente: (Winterbone, Desmond, 2015)

Realizado por: Winterbone, Desmond, 2015

1.5.5 Resultados obtenidos en investigaciones

Se establece que “las pruebas realizadas de rendimiento y emisiones se llegaron a efectuar a un par y velocidad particulares. Una vez que el motor está estable, la estabilidad del par y la velocidad se mantienen durante al menos 120s para registrar los parámetros de emisión” (Mishra et al., 2018, p.2).

Durante la ejecución del experimento en el dinamómetro de motor para el motor mono cilíndrico se logró procesar la siguiente información. La primera prueba, Tabla 5-1 contiene el combustible de gasolina con un 5% de metanol. Se ha logrado evidenciar que la potencia de frenada tiene un crecimiento paulatino, nótese que, al régimen de velocidad media, se ha logrado alcanzar el pico máximo de torque.

Tabla 5-1: Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 5%

Parámetro Referencial	Velocidad (rpm)	Torque (Nm)	Potencia de frenada (hp)
Velocidad baja de motor	166	0	0,01
	316	5	0,24
Velocidad media de motor	662	8	0,73
	989	8	1,09
Velocidad alta del motor	1188	6	1,05
	1445	5	0,99

Fuente: (Mishra et al., 2018)

Realizado por: Mishra, Prakash Chandra, 2018

Los resultados de torque y potencia del motor destinado para el estudio fueron los siguiente; con un porcentaje de metanol del 10% en volumen. En la Tabla 6-1 se puede observar que crecimiento del torque es progresivo, pero sin embargo se evidencia que la potencia, alrededor de las 1200 RPM alcanza a desarrollarse la máxima potencia que se logró obtener con la fracción M10 de metanol:

Tabla 6-1: Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 10%

Parámetro Referencial	Velocidad (rpm)	Torque (Nm)	Potencia de frenada (hp)
Velocidad baja de motor	308	0	0,01
	514	1	0,04
Velocidad media de motor	881	3	0,4
	963	2	0,24
Velocidad alta del motor	1289	6	1
	1515	5	1,11

Fuente: (Mishra et al., 2018)

Realizado por: Mishra, Prakash Chandra, 2018

La última de las pruebas que se realizó en el mismo motor fue con una mezcla de gasolina con metanol con un volumen del 15% de metanol, los resultados se muestran en la Tabla 7-1, donde claramente se observa que el pico máximo de torque son 5 Nm, donde la potencia también se desarrolló en su máxima expresión, con la proporción volumétrica de metanol M15.

Tabla 7-1: Torque y potencia con la combinación de gasolina y metanol al 15%

Parámetro Referencial	Velocidad (rpm)	Torque (Nm)	Potencia de frenada (hp)
Velocidad baja de motor	202	0	0,01
	572	0	0,03
Velocidad media de motor	825	1	0,06
	994	4	0,55
Velocidad alta del motor	1481	5	1,11
	1445	5	0,99

Fuente: (Mishra et al., 2018)

Realizado por: Mishra, Prakash Chandra, 2018

Las tablas presentan los datos recibidos del software APPSYS E-Test sobre el par y la potencia de frenado a diferentes velocidades del motor. El motor se estabiliza a un par de 5 Nm en este estudio. Se encuentra que la mezcla con un alto % de metanol proporciona una mayor potencia de frenado a velocidades más altas; mientras que a velocidades más bajas ofrece menos potencia en comparación con la mezcla con menos % de metanol o gasolina.

Tenga en cuenta que el máximo de 1500 rpm se establece mediante el ajuste del acelerador. La potencia máxima es de 1,36 CV en el caso de una mezcla de combustible al 5%, mientras que es de 1,14 CV para una mezcla del 10% y de 1,13 CV para una mezcla del 15%. El aumento del contenido de metanol aumenta la presión de combustión. Por tanto, aumenta la potencia de frenado (Varshney y Mishra, 2016; citado en Mishra et al., 2018, p.4).

Los resultados que se obtendrán de las curvas de potencia que se consiguen en estas pruebas de combustible alternativo implementado con 5%, 10% y 15% de metanol en la gasolina indican que si existen una mejoría en el rendimiento del motor reflejado en las curvas de potencia. La Figura 7-1 indica que a un régimen de giro de 350 RPM se logra alcanzar la potencia máxima, llegándose a mantener hasta las 1500 RPM, tal como indica el autor:

La potencia de frenado es mayor en caso de mezcla más baja hasta cierta velocidad (hasta 800 rpm). Más allá de eso, la mezcla con más alto (como 10% y 15% de metanol en comparación con 5% y 10% respectivamente) produce más potencia. A la velocidad más baja hasta 900 rpm en los tres casos, existen diferencias significativas entre la potencia de frenado para combustible puro y mezclado, el combustible mezclado rinde mejor potencia hasta esta velocidad. Pero más allá de esto, el poder no es diferente. Por lo tanto, considerando esto, el reemplazo de combustible es modificable (Mishra et al., 2016, p.3).

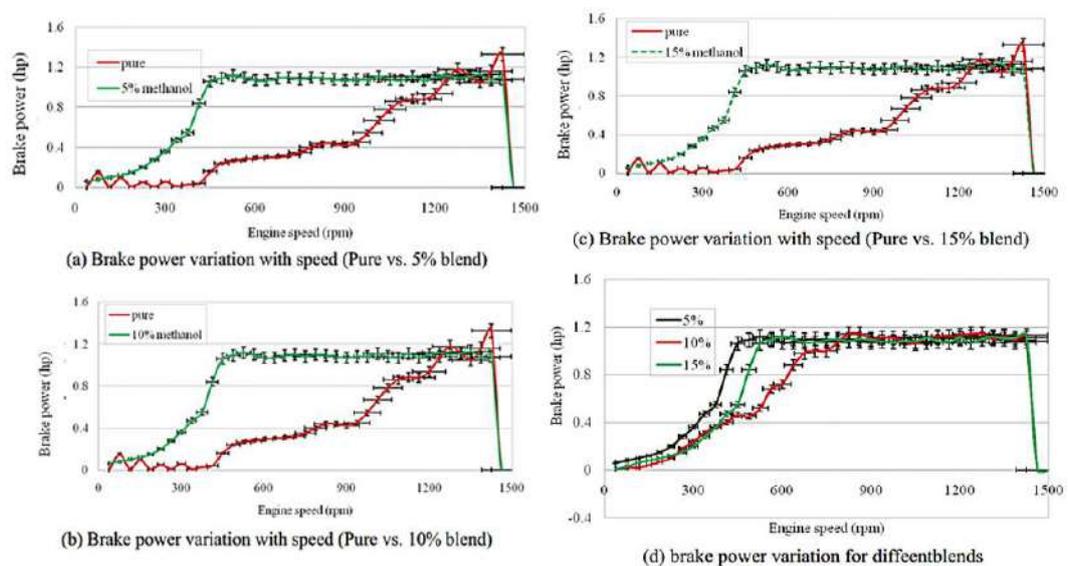


Figura 7-1: Curvas de potencia con 5%, 10% y 15% de metanol

Fuente: (Mishra et al., 2016)

Las pruebas que se realizan para medir las emisiones de gases mencionan que “los datos se reorganizan para diferentes combinaciones de par y velocidad. A un par de 5 Nm, los

parámetros de emisión se registran a tres velocidades diferentes (500 rpm, 1000 rpm y 1500 rpm)” (Mishra et al., 2016, p.4).

La Figura 8-1 indica que los CO han tenido una disminución considerable de las emisiones de gases con excepción de la mezcla B10 ya que a un régimen de giro de 500 RPM aumentan con relación a la prueba con la gasolina pura. El CO₂, se observa que hay una leve mejoría solamente con la mezcla con metanol B10, similar caso sucede con los hidrocarburos (HC) ya que llego a concluir que hay una mejoría con la combinación B10 tanto en los regímenes de giro del motor de 500, 1000 y 1500 RPM. Los NO_x se puede observar, que no existe mayor mejoría en este indicativo de emisiones debido al aumento de la velocidad del motor (1000, 1500 RPM) este indicador incrementa, solamente a bajas revoluciones se presenta una notable mejoría.

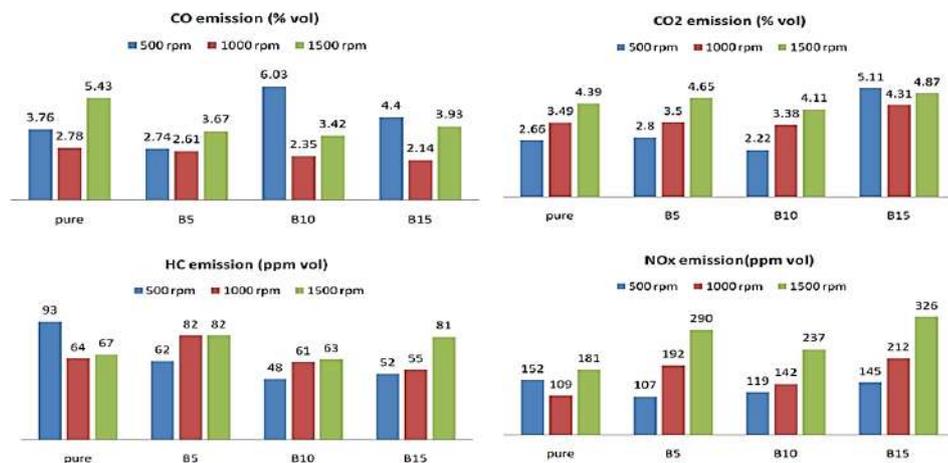


Figura 8-1: Resultados de emisiones obtenidas con 5%,10% y 15% de metanol

Fuente: (Mishra et al., 2016)

Las mediciones de rendimiento y emisión se informan para las mezclas que contiene metanol al 5%, 10% y 15%. El trabajo de investigación actual predice que la gasolina y el metanol la mezcla se puede utilizar como combustible alternativo a la gasolina. Con el objetivo de reducción de emisiones, la mezcla de metanol al 5%, 10% y 15% con la gasolina presenta menos emisiones y comportamiento de golpes. En algunos casos la emisión de NO_x de las mezclas más ricas es mayor que la de las más magras. Pero otros componentes de las emisiones se reducen significativamente para la mezcla que contiene hasta un 10% de metanol. la mezcla B10 muestra una razonable reducción de todos los componentes de las emisiones en comparación con todos los demás. Por lo tanto, mezclar del 5% al 10% de metanol con el tradicional la gasolina es aconsejable para mejorar las emisiones y el

rendimiento. Un método de prueba estándar se desarrolla a través de este estudio, que puede ser útil trabajar con otros combustibles alternativos (Mishra et al., 2020, p.10).

Los estudios que sustentan el trabajo de investigación, es el que se profundiza a continuación, el cual ocupa las mismas proporciones de metanol en volumen, es decir, 5%, 10%, 15% y adicional de 20%. Donde se podrá evidenciar en la Figura 9-1, existen mejorías en el rendimiento del motor en algunos regímenes de giro del motor, es importante aclarar que este estudio se realiza en un motor mono cilíndrico en el cual para este caso en particular se nota que a medida que se va añadiendo metanol el BTE va disminuyendo prácticamente a la misma potencia del motor, el autor menciona que:

La variación de la eficiencia térmica del freno de los combustibles M0, M5, M10, M15, M20 con variación en la potencia de frenado se describe en la Figura. En la Figura se puede observar que el BTE disminuye con el aumento de la concentración de metanol en la gasolina. También se observa que el BTE aumenta a medida que aumenta la carga (Srihitha et al., 2018, p.3).

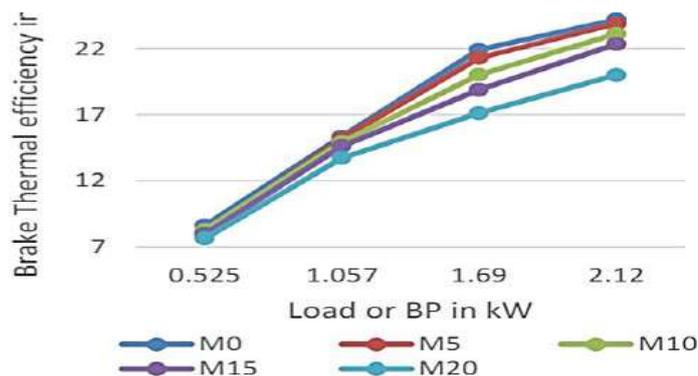


Figura 9-1: Eficiencia térmica a diferentes cargas del motor

Fuente: (Srihitha et al., 2018)

Las variaciones de las emisiones de CO de los combustibles M0, M5, M10, M15, M20 se observa en la Figura 10-1 con variación en la potencia de frenado. Se evidencian que las emisiones de CO disminuyen con el incremento de la concentración de metanol en la gasolina. Además, se logra observar que las emisiones tienden a disminuir a medida que aumenta la carga del motor.

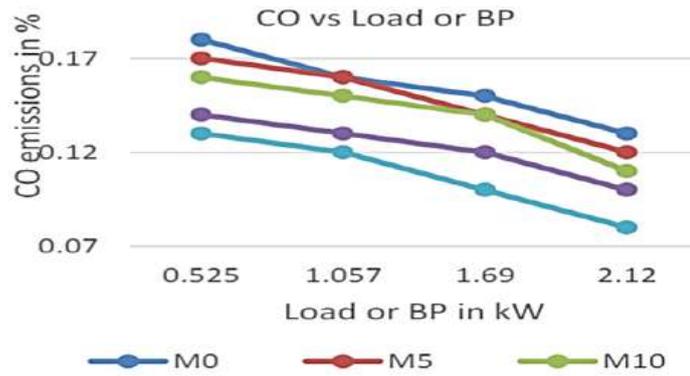


Figura 10-1: Emisiones de CO a diferentes cargas del motor

Fuente: (Srihitha et al., 2018)

La Figura 11-1 muestra las variaciones de las emisiones de HC de los combustibles M0, M5, M10, M15, M20 con variación en la potencia de frenado, donde se puede observar que las emisiones de HC disminuyen con el aumento de la concentración de metanol en la gasolina a todas las cargas. Se menciona que “las emisiones se están reduciendo a medida que aumenta la carga” (Srihitha et al., 2018, p.3).

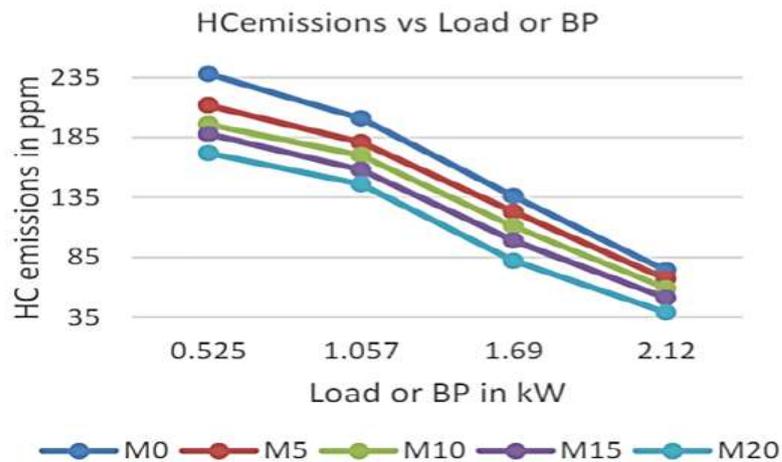


Figura 11-1: Emisiones de HC a diferentes cargas del motor

Fuente: (Srihitha et al., 2018)

La variación de CO₂ representada en la Figura 12-1, para el combustible alternativo M0, M5, M10, M15, M20, combustibles con variación en Potencia de frenado. Se puede observar que las Emisiones de CO₂, aumentan con el incremento en la concentración de Metanol para todas las cargas. Las emisiones aumentan a medida que aumenta la carga.

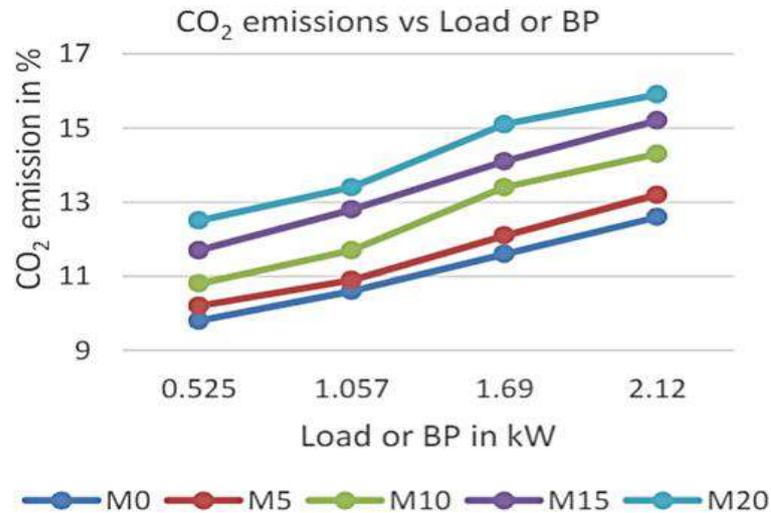


Figura 12-1: Emisiones de CO₂ a diferentes cargas del motor

Fuente: (Srihitha et al., 2018)

La investigación que realizó (Tian et al., 2020), menciona que la plataforma de simulación *GT-Power* analiza las características de combustión y emisión de metanol, etanol y butanol en un motor SI. Al analizar los efectos de la gasolina pura, M10, E10, BU10, M20, E20 y BU20 sobre el rendimiento del motor.

En la Figura 13-1 se logra observar los resultados obtenidos de los índices de emisión CO, CO₂, HC y NO_x, para los diferentes tipos de alcoholes aplicados en gasolina. De manera particular en la Figura 13-1 (a) y (c) se logra observar que para cualquier tipo de alcohol aplicado a una concentración de 5% no se logra mejoría alguna particularmente para CO y NO_x, el autor llega a las siguientes conclusiones:

- (1) *En comparación con la gasolina pura, las mezclas de alcohol y gasolina pueden aumentar la BT y la HRR del motor. El efecto de aumento sigue la regla (M20 > E20 > M10 > E10 > BU20 > BU10).*
- (2) *En términos de economía de combustible, agregar combustibles de alcohol a la gasolina puede mejorar el BTE del motor, pero el BSFC también aumenta en consecuencia. Entre los combustibles probados, M20 tiene el BTE y BSFC más alto, mientras que BU10 tiene el más bajo.*
- (3) *En términos de emisiones, en comparación con la gasolina pura, las mezclas de alcoholes y gasolina pueden reducir las emisiones de CO y CO₂ en la mayoría de las condiciones operativas, pero las emisiones de HC aumentan. M20 puede reducir muy bien las emisiones de CO y CO₂, pero tiene el peor efecto inhibitor sobre la producción de HC, y BU10 es lo contrario. Bajo ciertas condiciones, El M20*

combinado con el tiempo de encendido puede reducir mejor las emisiones de NOx (Tian et al., 2020, p.11).

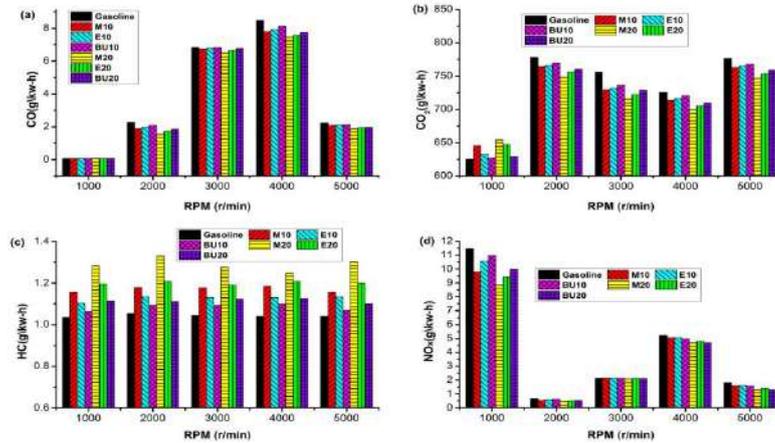


Figura 13-1: Emisiones a diferentes cargas del motor

Fuente: (Tian et al., 2020)

La investigación aplicada a un motor con la particularidad de que se innovo con una fracción de metanol del 50% en volumen, la Figura 14-1 muestra que la potencia de frenado aumenta con el aumento del porcentaje de mezclas de metanol y gasolina a velocidad constante, se logró identificar que la proporción volumétrica M20 alcanza 2 kW de potencia, seguido muy de cerca por la mezcla de gasolina M50, la cual bordea una potencia de 1,75 KW aproximadamente. En la investigación el autor menciona que:

El metanol tiene una velocidad de propagación de llama laminar más alta, lo que puede acelerar el proceso de combustión del motor y, por lo tanto, mejorar la eficiencia térmica del motor. M20 que tiene una mayor eficiencia térmica del freno a una velocidad constante del motor (Gohil et al., 2016, p.3).

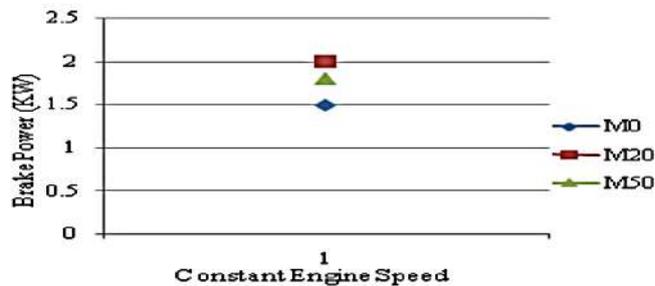


Figura 14-1: Potencia del motor a velocidad constante

Fuente: (Gohil et al., 2016)

Como conclusión se menciona que, “sobre la base del rendimiento del motor que utiliza mezclas de gasolina de metanol M0, M20, M50, se encontró una mezcla óptima de M20 (20% de metanol y 80% de gasolina)” (Gohil et al., 2016, p.4).

Los estudios que se mencionan a continuación, se investigaron experimentalmente el efecto del metanol puro a alta RC sobre el rendimiento y las emisiones en un motor mono cilíndrico con baja eficiencia. La Tabla 15-1 muestra que la mezcla de combustible con metanol, considerando una relación de compresión (CR) de 10 se logra obtener una potencia máxima bajo estas condiciones. Se menciona que “Para ello, el motor la CR se elevó de 6/1 a 10/1 y se probó a diferentes relaciones de compresión con metanol y gasolina” (Çelik et al., 2011, pp.4-5).

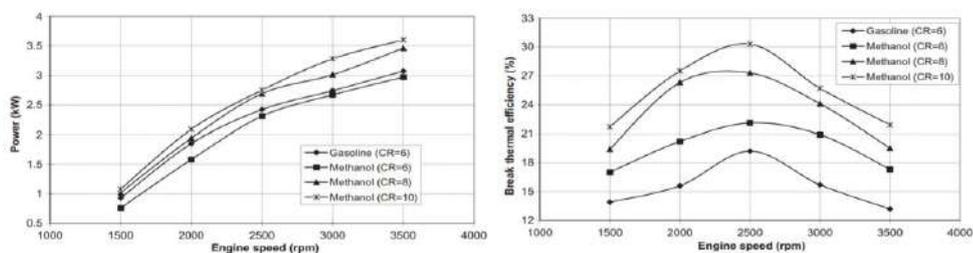


Figura 15-1: Potencia del motor a diferentes CR

Fuente: (Çelik et al., 2011)

Los resultados de las emisiones que se indica en la Figura 16-1, donde se logra observar que para los casos puntuales de los gases CO y CO₂ con relaciones de compresión de 10 y 6 respectivamente, se logra una disminución indudable de estos parámetros con relación a las otras pruebas realizadas. Los gases de HC no se han logrado obtener una disminución con ninguna de las pruebas realizadas, las conclusiones del autor son las siguientes:

Las emisiones de CO, CO₂ y NO_x se redujeron en aproximadamente un 37%, 30% y 22%, respectivamente. Mientras que la emisión de HC aumentó en aproximadamente un 31% con metanol en el mismo CR (6/1), aumentó en aproximadamente un 50% cuando CR se elevó del 1/6 al 1/10. Los resultados experimentales mostraron que se obtuvieron reducciones significativas en las emisiones de CO, CO₂ y NO_x cuando se utilizó metanol en lugar de gasolina en los motores SI. Además, también podrían obtenerse aumentos sustanciales en la potencia del motor y la eficiencia térmica de los frenos si los motores con un CR bajo pudieran funcionar a CR más altos (Çelik et al., 2011, p.5).

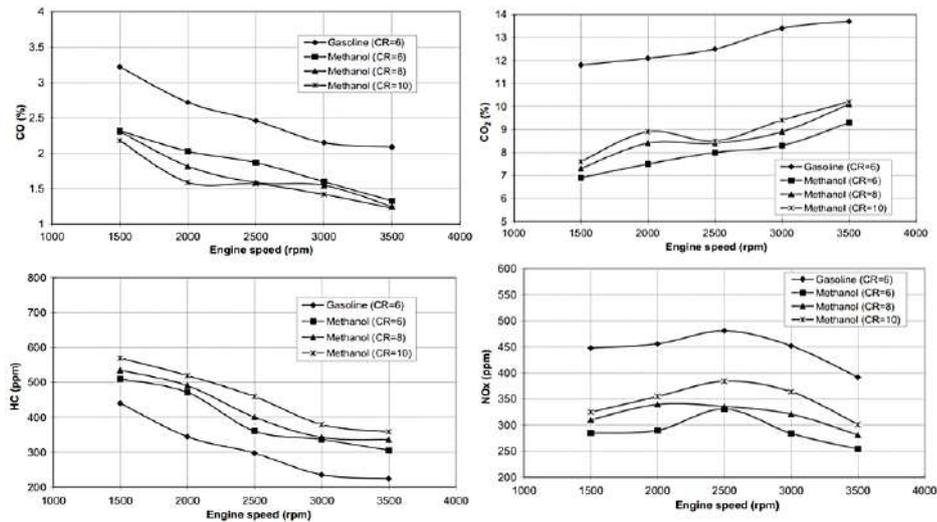


Figura 16-1: Potencia del motor a diferentes CR

Fuente: (Çelik et al., 2011)

De los alcoholes mezclados con gasolina se obtiene un mejor rendimiento en motores M.C.I SI, que se mencionarán a continuación, se establece en esta investigación que la implementación de una mezcla denotada como G75E21M4, trata de una mezcla de gasolina, etanol hidratado y metanol, todas estas a diferentes proporciones en volumen.

El mejor resultado se logró obtener con G75E21M4, tal como se lo evidencia en la Figura 17-1 con potencia aproximada de 45 kW a un régimen de giro de motor alto (5500 RPM aprox.). Al respecto el autor menciona lo siguiente:

El efecto de las mezclas de combustible G75E21M4 y E25 en la potencia del motor en comparación con E0. Se observó un incremento en la potencia del motor para G75E21M4 y E25. Se observó un incremento máximo de 6.6% (2.2 kW) y 4.5% (1.5 kW) a 3000 rpm para G75E21M4 y E25, respectivamente. En comparación con el combustible E25, se observó un incremento máximo del 2% (0,9 kW) en la potencia del motor para el combustible G75E21M4 a mayor velocidad del motor (5500 rpm), que se debe al contenido de agua en la mezcla de combustible. La razón principal de una mayor potencia de salida a mayor velocidad es debido a la mayor velocidad de la llama de la mezcla de etanol hidratado, junto con el aumento del avance de la chispa (Thangavelu et al., 2016, p.5).

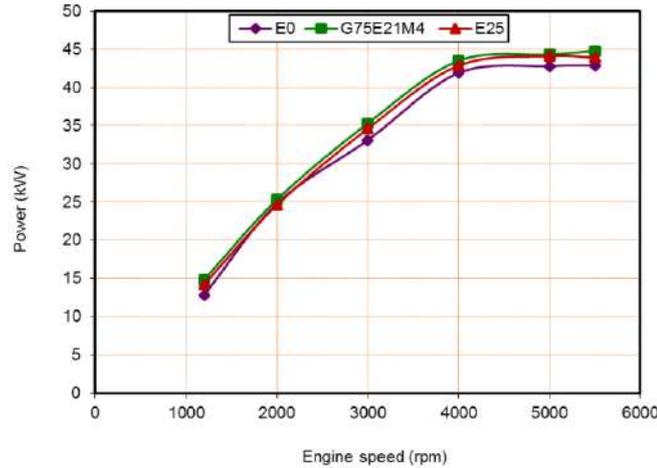


Figura 17-1: Potencia de un motor de 4 cilindros en línea

Fuente: (Thangavelu et al., 2016)

El torque que se obtiene en la prueba experimental aplicado para el mismo motor de 4 cilindros en línea se evidencia en la Figura 18-1, donde claramente se nota que el combustible alternativo G75E21M4 resulta ser relativamente mejor que la mezcla con E25. La mezcla E0 ha representado una curva con el menor torque entre las muestras consideradas para las pruebas. El autor explica sus conclusiones a cerca del torque obtenido:

Se notó una mejora en el par motor para G75E21M4 y E25 en comparación con E0. Se observó un incremento máximo de 4,3% (4,3 N m) y 3% (3 N m) a 4000 rpm para G75E21M4 y E25, respectivamente. En comparación con el combustible E25, se observó un incremento máximo del 2,2% (1,9 N m) en el par motor a una velocidad del motor más alta (5000 rpm) para el combustible G75E21M4, que se debe a su índice de octanaje más alto (Thangavelu et al., 2016, p.5).

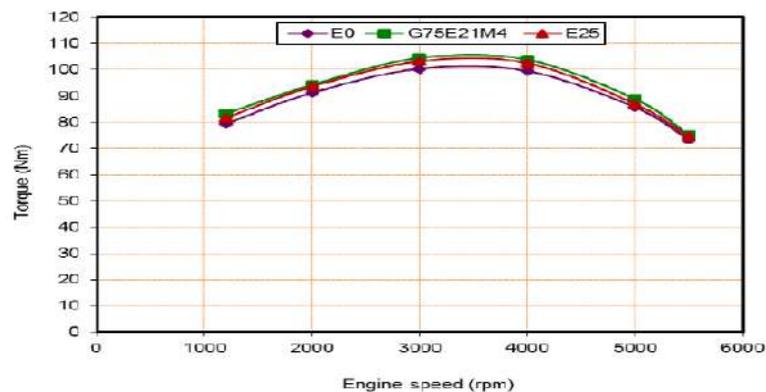


Figura 18-1: Torque de un motor de 4 cilindros en línea

Fuente: (Thangavelu et al., 2016)

El efecto de la adición de metanol a la gasolina en la potencia de salida del motor se muestra en las Figuras 1 y 2. El aumento en la producción de potencia fue tan alto como 16% cuando se usó una mezcla de combustible de metanol al 15%, lo que dio el aumento máximo en la producción de potencia para el rango de velocidad estudiado. Esto indica que el metanol tiene un efecto significativo en la potencia de salida del motor. El metanol se enciende con mucha menos facilidad que la gasolina (Abu-Zaid y Yamin, 2004, p.2).

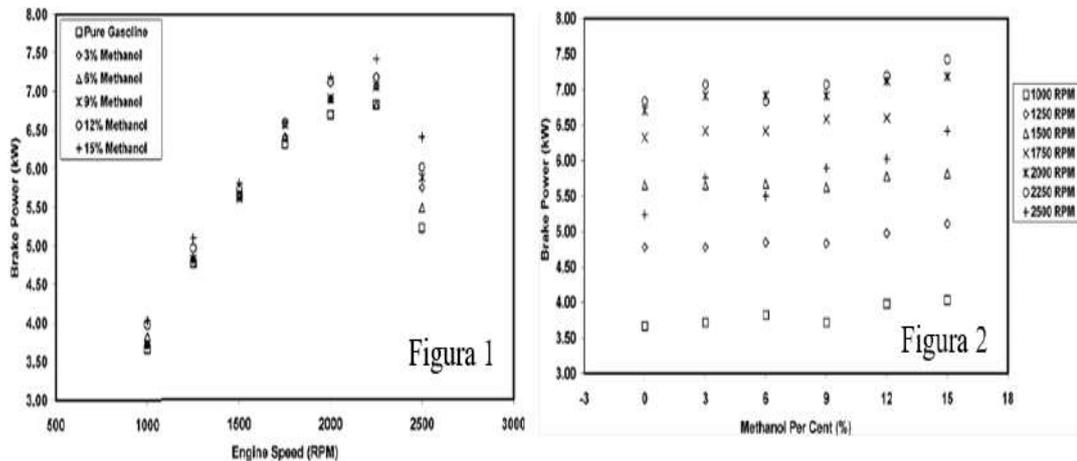


Figura 19-1: Potencia de un motor con M15 de metanol

Fuente: (Abu-Zaid y Yamin, 2004)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Método de Investigación

El método de investigación que se aplicara es el hipotético-deductivo, debido a que consiste en un procedimiento utilizado para construir una teoría científica que explicará los resultados obtenidos a través de la observación directa y la experimentación, y predecirá efectos adicionales a través del razonamiento, que luego podrán ser verificados o refutados por evidencia empírica de otros experimentos (Encyclopedia Britannica, 2020, párr.4).

Se establece que es deductivo, debido a que determinan los hechos más importantes que van a ser objeto del análisis ya que se deducen las relaciones entre las variables de estudio que dan sentido al objeto analizado, con base a estas deducciones es que se logra plantear una hipótesis; y es aquí en donde se afianzara el proceso experimental (Rodríguez Moguel, 2005, p.30).

Es hipotético debido a que se fundamentará en criterios que admitan o rechazan una premisa según sea el resultado de la contrastación de estas: básicamente la hipótesis se justifica y se acepta si queda confirmada; y se la rechaza si es refutada (Cegarra Sánchez, 2012, pp.82-83).

El método hipotético-deductivo está conformado principalmente por; a) planteamiento de tópico a investigar o problema de estudio, b) formulación de una hipótesis para explicarlo tentativamente, c) confrontación de la hipótesis con la realidad, d) comprobación de la validez de la hipótesis, e) si la consecuencia es verdadera, confirma la hipótesis, f) si la consecuencia es falsa, refuta la hipótesis (Martínez Ruíz, 2018, p.7).

La figura 1-2 se establece el planteamiento del método hipotético – deductivo del presente Proyecto de Investigación, donde partiendo del estudio y análisis de un combustible alternativo constituido de gasolina y metanol se busca la mejoría del rendimiento del motor y la reducción en los índices de gases de escape del motor; esto debido a la mala calidad de combustibles existentes en el país. Esto conduce a la realización de un análisis del combustible a través de un banco dinamométrico y un analizador de gases que permitirán cuantificas valores de curvas de torque y potencia; así como obtener valores de emisión de gases que permitan confirmar o refutar la hipótesis planteada de que el combustible alternativo propuesto mejoraría el rendimiento del motor.

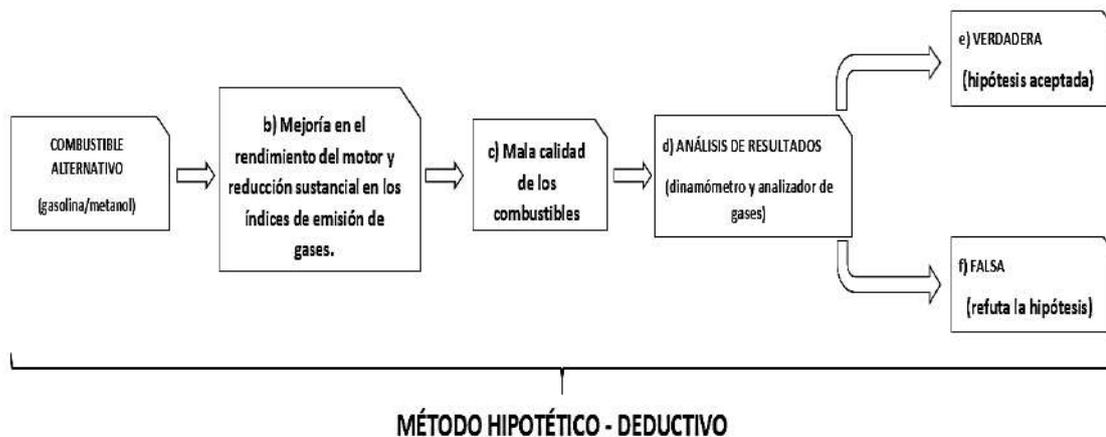


Figura 1-2: Diagrama del Método de Investigación

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

2.2 Método Empírico

Los métodos de investigación empíricos han llevado a cabo una serie de procedimientos prácticos, que pueden revelar las características básicas y las relaciones esenciales de los objetos; los objetos de contemplación sensorial representan un nivel en el proceso de investigación, y su contenido se deriva fundamentalmente de experiencia y después de una cierta cantidad de la explicación racional y la expresión en un lenguaje específico (Neill y Cortez Suárez, 2018, pp.21-22).

El método empírico nos permite tener una visión clara de que es lo que se desea hacer, es decir, a través de un procedimiento que describa paso a paso la fase experimental, por lo tanto, para el desarrollo del método empírico se considerarán los métodos de observación y experimentación, los cuales permitirán tener un campo específico para desarrollar la experimentación.

La observación científica incluye la percepción directa del tema de investigación. La observación, como procedimiento, se puede utilizar en diferentes momentos de la investigación, por ejemplo, en su etapa inicial, se utiliza para diagnosticar el problema a investigar y es de gran utilidad en el diseño propio de la investigación. Ya en el proceso de investigación, puede convertirse en el procedimiento propio que permita llegar a probar la hipótesis (Neill y Cortez Suárez, 2018, p.25).

El método de experimentación resulta ser el más complejo y eficaz; debido a que surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, como consecuencia del esfuerzo que realiza el hombre por penetrar en lo desconocido a través de su actividad transformadora, es decir, que el investigador crea las condiciones necesarias o adecua las existentes, para el esclarecimiento de las propiedades y relaciones del objeto, que son de utilidad en la investigación (Neill y Cortez Suárez, 2018, p.30).

La Figura 2-2 describe el método empírico; ya que mediante la utilización de las herramientas de observación y experimentación permitirán la recolección de datos durante el desarrollo del proceso experimental, debido a que mientras el motor esté en funcionamiento se podrá ir recolectando los valores numéricos emitidos por cada variable de estudio como lo son torque, potencia y emisiones todas estas en función de las revoluciones del motor (RPM).



Figura 2-2: Diagrama Método Empírico

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

2.3 Metodología Cuantitativa

La metodología que se utilizará es la cuantitativa debido a dos aspectos fundamentales; el primero es que se centra en aspectos observables que se pueden cuantificar, es decir, debido a que se utilizará combustible alternativo con el aliciente de que habrá variaciones de volumen del metanol (% vol.), ocasionando que se presenten diversas variantes en las curvas de torque y potencia; así como variaciones en los parámetros medibles de los gases generados en la combustión, las mismas que se van a poder cuantificar y, porque de los mismos aspectos se podrá recolectar datos para ser cuantificados de forma estadística (Martínez Ruíz, 2018, p.17).

El objetivo de la metodología cuantitativa es examinar muchas variables a la vez, con la intención de recopilar la mayor cantidad de información posible que permita posteriormente tener un campo amplio para el análisis, hablando en términos concretos, frecuentemente se la utiliza para saber la relación casual existente entre dos o más variables y la magnitud de dicha relación. Lo que se hace referencia es de un análisis correlacional, que simplemente presenta información sobre la relación que existen entre las variables que son objeto del estudio, estas variables varían en diferentes niveles o grados (Sánchez Martínez, 2007, p.51).

El método cuantitativo es un método tradicional debido a que se llega a fundamentar en la medición de características de fenómenos sociales, lo cual deriva directamente en la conceptualización del problema analizado, desde diversos puntos de vista que indican relaciones entre las variables que van a ser estudiadas de forma deductiva, con este método se busca generalizar y normalizar los resultados (Bernal Torres, 2006, pp.57-58).

La Figura 3-2 establece como está conformada la metodología cuantitativa, donde el punto de partida para esta metodología radica en el mismo combustible alternativo conformado de gasolina (base) y metanol; mismos que ingresaran al motor a través del sistema de alimentación

de combustible, cuando el motor entre en funcionamiento se podrá cuantificar los valores de potencia, torque y emisiones cada uno de ellos por medio de equipos especializados para variable de estudio.

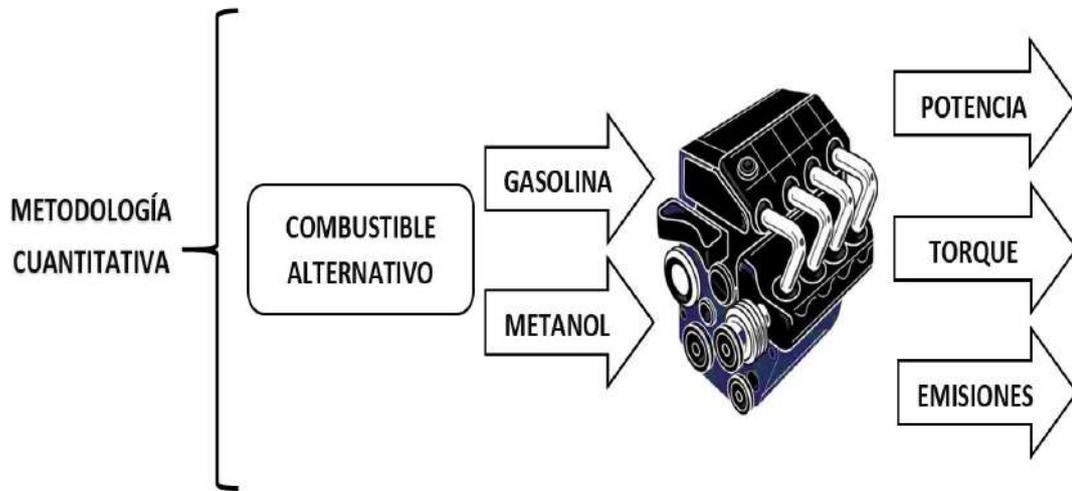


Figura 3-2: Diagrama Metodología Cuantitativa

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

2.4 Proceso Metodológico

El trabajo experimental se fundamenta en tres etapas: la primera consiste en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del combustible alternativo, la segunda etapa corresponde a la implementación de una ECU programable para el diseño de un mapa motor donde se establecerán parámetros adecuados de carga de combustible y avance de la chispa en función del combustible alternativo que se va a implementar; y la tercera etapa consiste en el estudio del rendimiento y emisiones generadas del motor que operará con gasolina/metanol en diferentes proporciones y pureza de alcohol (M5N96, M10N96, M15N96, M5N100, M10N100 y M15N100).

El proceso metodológico que se muestra en la Figura 4-2 está categorizado principalmente en cuatro fases establecidas como: 1) Análisis fisicoquímico, que consiste en la preparación de las muestras a analizar en el laboratorio, es decir, realizar muestras de base gasolina (extra y super) con diferentes proporciones de metanol (96% y 100% de pureza), para posteriormente realizar pruebas de ensayo de densidad, viscosidad cinemática, punto de inflamación, destilación fraccionada y corrosión de lámina de cobre cada una de ellas sustentadas bajo una normativa INEN, 2) Instalación de ECU programable, consiste en realizar un arnés de cables que comuniquen las señales emitidas por la computadora con los sensores y actuadores necesarios

para el funcionamiento del motor, esto basándose en un *pin data* específico de la computadora *MS II*, la finalidad de la computadora programable es elaborar un mapa motor que permita establecer parámetros de carga de combustible y avance de la chispa acordes para el combustible alternativo garantizando de esta manera un funcionamiento estable del motor, 3) la ejecución de las pruebas en la fase medular del trabajo de titulación debido a que en esta fase es donde se van a poder obtener los datos de cada una de las variables de estudio mencionadas, tanto en el banco dinamométrico y analizador de gases, estas considerando cada una de las variantes de combustible consideradas para el proceso experimental y, 4) la evaluación de resultados se concentra en un estudio estadístico, que permitirá analizar los datos obtenidos y poder tener una noción clara para poder aceptar o rechazar la hipótesis.

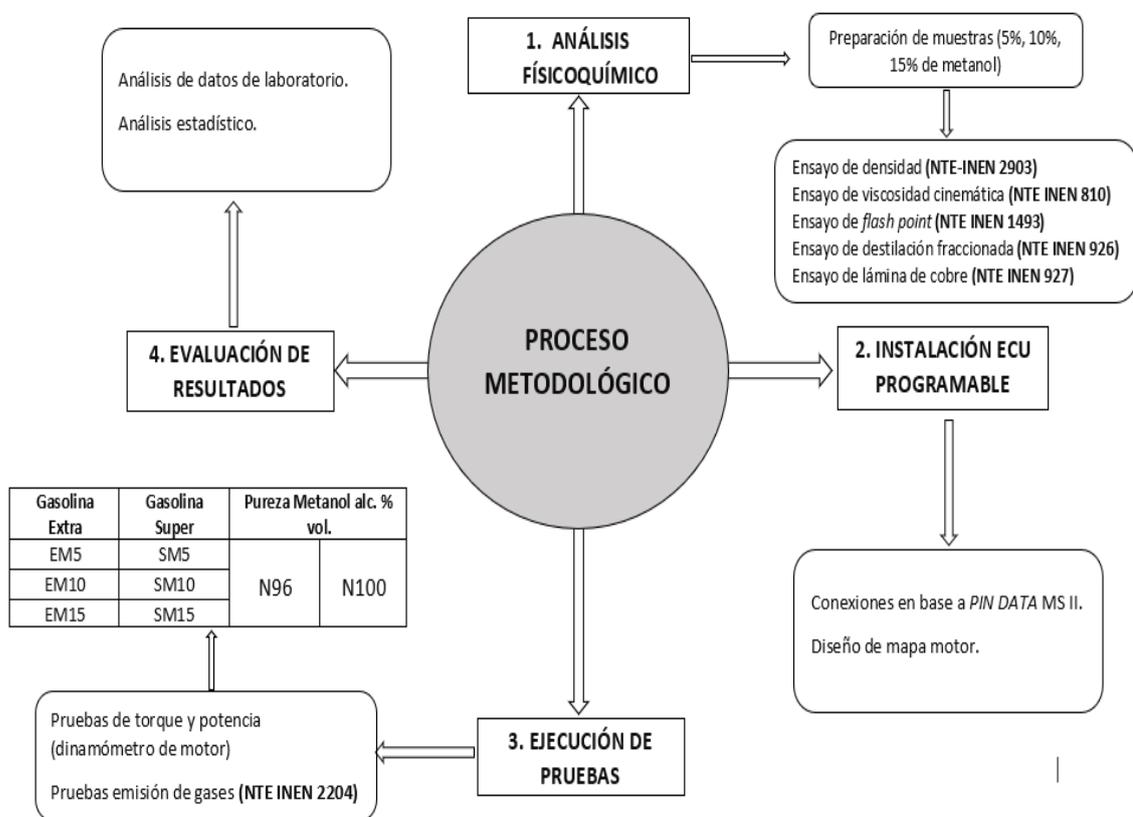


Figura 4-2: Diagrama Proceso Metodológico

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

2.4.1 Desarrollo del proceso metodológico

El desarrollo del proceso metodológico descrito en la Figura 4-2, especifica un conjunto de procedimientos y técnicas que se aplicaran de manera ordenada y sistemática al momento de

realizar el proceso experimental, donde se categorizan las etapas que se consideran para la ejecución del proceso en mención. Cada una de estas etapas comprenden fundamentaciones técnicas regidas en normativas, mismas que se van a explicar a continuación:

2.4.1.1 *Protocolo para el análisis fisicoquímico*

El desarrollo de las pruebas de los ensayos para el análisis fisicoquímico se lo realizaran en el Laboratorio de Química General e Inorgánica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, donde el uso fundamental de materiales de laboratorio graduados en conjunto con normativas (NTE INEN) permitieron el normal desarrollo de las pruebas de ensayo fisicoquímicas de los diferentes combustibles considerados para el estudio.

El primer paso por realizar en esta fase es la preparación de las muestras, donde es importante aclarar de que se han utilizado diferentes variantes para la preparación del combustible alternativo, tal como se indica en la Figura 5-2 a, con esto lo que se busca establecer un modelo experimental de estudio considerando las variantes de gasolina extra de 87 octanos, gasolina super de 92 octanos y metanol con 96% y 100% de pureza de alcohol.

En la Figura 5-2 b, se evidencia la preparación de la mezcla de combustible alternativo con un máximo de 300 ml de mezcla, misma que va a ser distribuida para cada uno de los ensayos considerados para las pruebas de laboratorio. Se considera un máximo de 300 ml de mezcla debido a que las muestras a utilizar en las pruebas de densidad y viscosidad cinemáticas pueden ser reutilizadas, debido a que no van a sufrir ningún cambio químico, ya que estos ensayos de laboratorio son de caracterización física, caso contrario sucede con las pruebas de punto de inflamación (*flash point*), destilación fraccionada y lámina de cobre. Las muestras de combustible que se utilizaran van a sufrir transformaciones químicas, ocasionando que, una vez finalizada las pruebas de ensayo de cada una de ellas, la muestra utilizada será desechada. Esta consideración se la tiene en cuenta para cada una de las pruebas de ensayo a realizarse en los diferentes tipos de combustible analizados para el proceso experimental. La mezcla debe permanecer en un envase totalmente cerrado con el fin de minimizar las pérdidas de componentes livianos de la gasolina.



Figura 5-2: Preparación de las muestras de combustible a analizar

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

- Pruebas de carácter físico

- Ensayo de densidad

Para la realización de la prueba de densidad es conveniente hacer uso de hidrómetros que estén normalizados bajos especificaciones de ASTM E100, tal como se logra observar en la Figura 6-2 a, mismas que se utilizaran en diferentes escalas con el fin de poder determinar los grados API para cada uno de los combustibles empleados para el estudio. En la Figura 6-2 b, se llega a evidenciar la medición de los grados API en la gasolina Extra, mientras que la Figura 6-2 c se realiza el mismo procedimiento para la determinación de los grados API de la gasolina Super. El procedimiento va a ser el mismo para cada uno de los combustibles con las diferentes variaciones volumétricas de metanol.



Figura 6-2: Determinación de los grados API de los combustibles alternativos

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El resumen del ensayo se concentra en lo siguiente; la muestra se lleva a una temperatura especificada y una parte de la muestra se transfiere a una probeta que tiene aproximadamente la misma temperatura. Después de alcanzar la temperatura de equilibrio, se debe leer la escala del hidrómetro y registrar la temperatura de la muestra. El valor obtenido usando la temperatura de referencia es la lectura del hidrómetro más no el valor de medición de densidad (NTE INEN 2903, 2015, p.2).

Los aspectos importantes a tener en cuenta para la realización del ensayo de densidad radica en: i) transferir la muestra a la probeta limpia sin salpicar, para evitar la formación de burbujas de aire y minimizar la evaporación de los componentes más volátiles, ii) introducir el termómetro y mezclar la porción de muestra con una varilla de agitación, realizando movimientos verticales y giratorios para asegurar la uniformidad de la temperatura y densidad en la probeta y, iii) introducir el hidrómetro lentamente en el interior de la probeta que contiene la muestra y soltarlo hasta que flote libremente (NTE INEN 2903, 2015, p.4).

Las condiciones establecidas para la realización de las pruebas fueron a temperatura ambiente de 20 °C y con hidrómetros de diferentes escalas (49/61), (59/71) de grados API, la consideración de hidrómetros de diferentes escalas va en función de la cantidad de metanol que este agregado en la gasolina.

Los valores de medición en grados API no permite tener un valor referencial para poder compararlo con el rango establecido por la normativa, es por lo que se aplica la siguiente ecuación de conversión para obtener unidades de kg/m³.

La ecuación para convertir la lectura del hidrómetro a densidad (kg/m³), es la establecida de la siguiente manera (NTE INEN 2903, 2015, p.7):

$$\text{Densidad } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{141,5 \times 999,016}{131,5 + ^\circ\text{API}} \quad (1)$$

- Ensayo de viscosidad cinemático

La determinación de la viscosidad cinemática es una prueba de carácter físico, la cual requiere de un viscosímetro de tubo capilar especial para el combustible alternativo el cual es el objeto del estudio experimental, pero sin embargo el Laboratorio de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH no lo poseía, ya que solamente había la disponibilidad de un viscosímetro de tubo capilar para combustibles pesados (3B) como el diésel, con lo cual impedía realizar la prueba mediante este método, pero sin embargo la norma (NTE INEN 810, 2013, p.9) contempla la siguiente ecuación:

$$\eta = \nu \times \rho \times 10^{-3} \quad (2)$$

En donde:

η = viscosidad dinámica, mPa .s,

ρ = Densidad, kg/m³, a la misma temperatura que se determina la viscosidad cinemática, y

ν = viscosidad cinemática, mm² /s.

La Ecuación (2) establece que se debe determinar la viscosidad dinámica, para lo cual se va hacer uso de la Fórmula de Stokes (Catañeda, 2020, p.2) definida de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_c - \rho_l)}{9V_s} \quad (3)$$

Donde:

r = radio de la canica, m²,

g = gravedad, m/s²,

ρ_c = densidad de la canica, kg/m³,

ρ_l = densidad de la mezcla, kg/m³ y,

V_s = velocidad de caída de la canica, m/s.

La aplicación de la Formula de Stokes (3), se la aplica en la Figura 7-2 donde se inicializa con la toma de valores de las diferentes variables consideradas en la fórmula. En la Figura 7-2 a, se realiza el pesaje de la canica, para posteriormente con ayuda de un calibrador pie de rey medir el diámetro de la misma a poder obtener el volumen de la canica y finalmente obtener la densidad de la canica, mientras que en la Figura 7-2 b, se realiza el pesaje del picnómetro de 10 ml con la variante de combustible alternativo y en la Figura 7-2 c, se realiza la medición de peso del picnómetro vacío, para concluir con la diferencia de pesos obtenidos en b y c, lográndose de esta manera obtener la densidad de la mezcla.

La obtención de la velocidad de caída relacionará la altura del volumen de la mezcla que este contenido en la probeta y el tiempo que demora en llegar la canica a tocar la base (fondo) de la misma probeta. Todas estas mediciones deben estar sometidas bajo la misma temperatura (20 °C) y considerarse cuatro cifras significativas, este ensayo está sustentado bajo el principio de repetitividad para poder garantizar la fiabilidad de la prueba (NTE INEN 810, 2013, p.2).

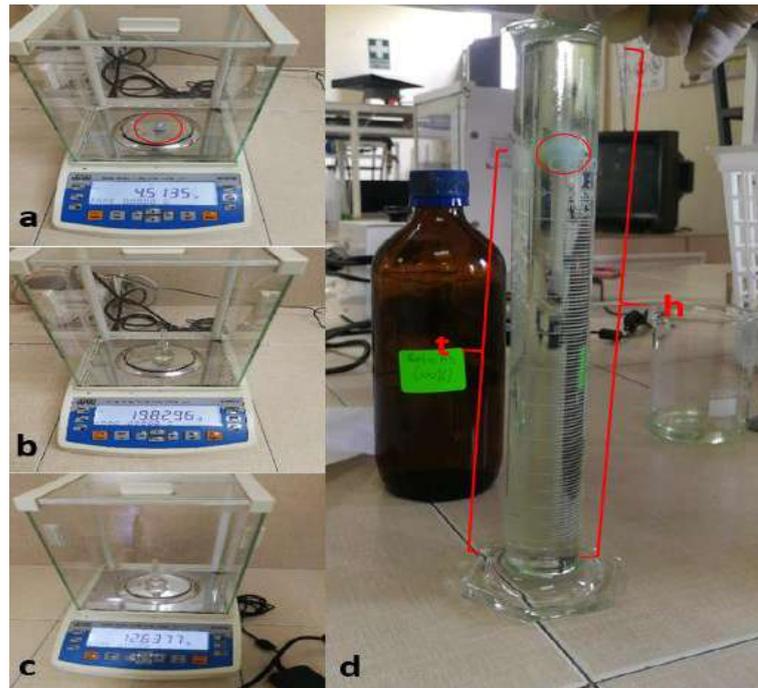


Figura 7-2: Toma de datos para la Fórmula de Stokes

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La relación entre la viscosidad dinámica obtenida mediante la Fórmula de Stokes y la densidad de la mezcla de combustible alternativo considerado permitirá la obtención de la viscosidad cinemática que se estableció en la Ecuación (2). Mismo procedimiento se lo debe seguir para la determinación de la viscosidad cinemática para cada una de las variables de combustible consideradas para este estudio experimental.

- Pruebas de carácter químico
- Ensayo punto de inflamación (*flash point*)

La prueba del punto de inflamación se realiza en una copa cerrada de bronce de un tamaño específico, la muestra se coloca hasta la marca interna, luego se calienta y se cubre con una tapa adecuada del tamaño específico. Se agita la muestra a velocidad constante. Posteriormente, se lleva periódicamente a la fuente de ignición al interior de la taza de prueba mientras interrumpe la agitación hasta que se detecte el punto de inflamación (NTE INEN 1493, 2013, p.2).

El equipo de ensayo utilizado es el Pensky - Martens de copa cerrada (manual), consta de: copa y tapa de ensayo, obturador, dispositivo de agitación, fuente de calentamiento, fuente de ignición, baño de aire, y plato superior que en conjunto con un dispositivo de medición de

temperatura (termómetro) que cumpla con las especificaciones ASTM E1 permitirán determinar el punto de inflamación de la mezcla de combustible (NTE INEN 1493, 2013, p.3). Para cada ensayo es necesario al menos tener en cuenta 75 ml de mezcla para el análisis, todas estas consideraciones se las debe tener en cuenta para todas las variantes de combustibles considerados para el proceso experimental.

La Figura 8-2 muestra el equipo Pensky – Martens empleado para determinar la temperatura (°C) de inflamación de cada uno de los combustibles considerados para el estudio experimental, este equipo es de tipo manual, tal como lo establece la normativa NTE INEN 1493; mismo que consta esencialmente de una copa de cobre y un agitador todos ellos actuaran bajo un sistema hermético “copa cerrada” (Figura 8-2 a) que permiten preparar la mezcla para las posteriores mediciones de temperatura. El valor de temperatura a considerar es aquel en el que al exponer una fuente de ignición esta llega a inflamarse, la temperatura observada en el termómetro es la que se debe registrar tal como se llega a observar en la Figura 8-2 b.

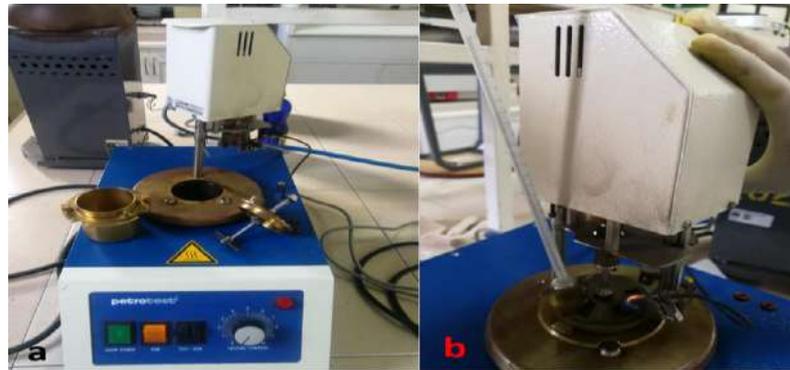


Figura 8-2: Equipo Pensky – Martens para punto de inflamación

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Para el registro de datos de temperatura se observa y se registra la presión barométrica en el momento y lugar del ensayo. Cuando la presión difiera de 101,3 kPa (760 mmHg), corregir el punto de inflamación como se indica a continuación (NTE INEN 1493, 2013, p. 8):

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0,25 (101,3 - K) \quad (4)$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0,033 (760 - P) \quad (5)$$

Donde:

C = punto de inflamación registrado, °C,

K = presión barométrica, kPa,

P = presión barométrica, mm Hg.

- Ensayo de destilación fraccionada

El ensayo de destilación fraccionada consiste en destilar una muestra de ensayo de 100 ml, bajo las condiciones establecidas en el ANEXO B, se deben efectuar lecturas sistemáticas o simultáneas de la temperatura de los vapores y volúmenes de recuperado y, con estos datos, se calculan los resultados del ensayo (NTE INEN 926, 1982, p. 1).

El registro de los datos de temperatura que se obtienen deben someterse a un cálculo de corrección barométrica de temperatura, para lo cual se debe hacer uso de la Fórmula de *Sidney Young* (NTE INEN 926, 1982, p. 5) definida de la siguiente manera:

$$C = 0,00012 * (760 - P) * (273 + t^{\circ}\text{C}) \quad (6)$$

En donde:

C = corrección que debe agregarse algebraicamente a la temperatura leída, en °C

P = presión barométrica en mm de Hg, en el momento del ensayo

t°C = temperatura leída en °C.

La Figura 9-2 muestra la disposición del equipo de destilación en conjunto con los materiales de laboratorio que se van a emplear para la realización de las pruebas de ensayo de destilación fraccionada, donde la mezcla reposará en el interior del matraz de destilación, la misma estará apoyado sobre una termorresistencia regulable por una perilla que permitirá aumentar o disminuir la intensidad de calor. Cuando se llegue a una temperatura determinada, el combustible se evaporará, inmediatamente se producirá una condensación en las paredes del matraz, ocasionado que en el ducto de destilación se transporte el líquido para la destilación. El combustible destilado se recogerá en una probeta de 100 ml.

Las temperaturas de destilación se las deben ir registrando cada 10 ml de destilación, con ayuda del termómetro colocado en la parte superior del orificio principal del matraz.



Figura 9-2: Equipo Koehler para destilación fraccionada

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El procedimiento de destilación especificado se debe aplicar para todas las variantes de combustible constituidas por base Extra y Super a diferentes fracciones volumétricas de metanol, además se deben registrar las siguientes consideraciones que se establecen en la Tabla 1-2:

Tabla 1-2: Nomenclatura a considerar para la destilación fraccionada

Nomenclatura	Descripción
Punto inicial de ebullición	Es la temperatura observada en el termómetro, colocado en el cuello del matraz de destilación, en el instante en que la primera gota de destilado cae de la boca del tubo condensador.
Punto final de destilación	Es la temperatura más alta observada durante toda la destilación en el termómetro ubicado en el cuello del matraz de destilación.
Porcentaje total de recuperación	Es la suma del porcentaje total de recuperado y residuo.
Porcentaje de pérdidas	Es la diferencia entre el 100% y el porcentaje total de recuperación.
Porcentaje de residuo	Es el volumen remanente de la muestra presente en el matraz al final de la destilación, expresado en porcentaje.
Porcentaje de total de recuperado	Es el máximo porcentaje obtenido de la destilación.

Fuente: (NTE INEN 926, 1982)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La recolección de datos térmicos se los deben redondear al inmediato superior (NTE INEN 926, 1982, p. 7) para un mejor entendimiento durante el análisis de las curvas de destilación.

- Ensayo de corrosión a la lámina de cobre

El ensayo de corrosión a la lámina de cobre consiste en sumergir una lámina de cobre pulida en un volumen específico de la muestra a ensayar y se calienta bajo condiciones de temperatura y tiempo que se especifican para la clase de material que se está ensayando. Al final del periodo de calentamiento, la lámina de cobre se retira, se lava y se evalúa el color y nivel de ataque, que se clasifica dentro de las categorías señaladas en el Patrón de Referencia ASTM para corrosión de la lámina de cobre (NTE INEN 927, 2013, p. 1).

El ensayo se lo debe realizar en un tubo de ensayo donde se debe añadir 30 ml de mezcla de combustible, considerando que debe haber 5 mm de mezcla por encima del borde superior de la lámina de cobre, las especificaciones dimensionales de la lámina deben ser de 12.5 mm de ancho, 3 mm de espesor y 75 mm de largo. Establecidos estos parámetros todas las láminas de cobre que van a ser sometidas a la prueba de ensayo de corrosión deben ser sumergidos en un baño termostático de manera vertical a una profundidad aproximada de 100 mm, este baño

termostático debe ser capaz de mantener la temperatura de ensayo dentro de un rango $\pm 1^\circ\text{C}$. La duración del ensayo debe ser de 3 horas a una temperatura de 50°C , Después de $3\text{ h} \pm 5$ minutos, retirar el tubo de ensayo del baño y examinar la lámina (NTE INEN 927, 2013, p. 5).

La Figura 10-2 a, muestra la ejecución de la prueba de corrosión, donde con ayuda del termostato de inmersión (ANEXO E) permite aumentar o disminuir el calor generado por la termorresistencia mediante la interacción de una perilla esto en conjunto con un termómetro digital de precisión (0.1°C) que indicara que el rango de temperatura este dentro del admisible establecido por la norma NTE INEN 927.

La culminación de la prueba de ensayo después de 3 horas y 5 minutos se procede a retirar la gradilla de tubos de ensayo del baño termostático, las muestras de combustible deben ser depositadas en otro recipiente para posteriormente retirar las placas de cobre con ayuda de una pinza, las placas utilizadas en la prueba de corrosión son las que se observan en la Figura 10-2 b que posteriormente deben ser analizadas de acuerdo con la categorización establecida por la normativa (ANEXO D).

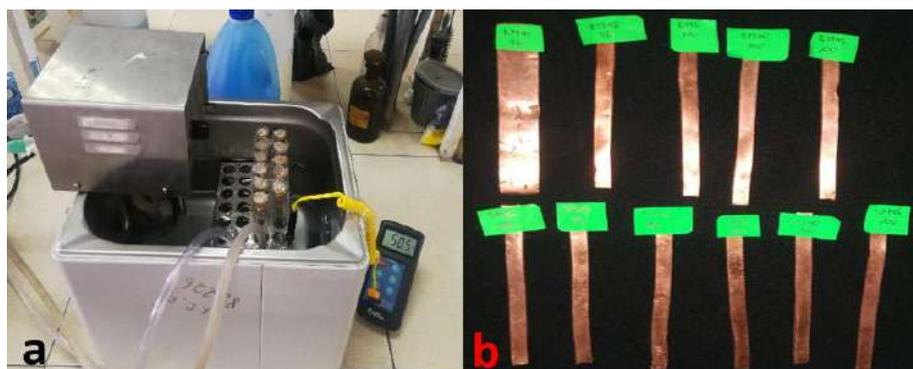


Figura 10-2: Realización del ensayo de corrosión a la lámina de cobre

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El reporte de la corrosividad de acuerdo con una de las clasificaciones indicadas en el ANEXO D, se debe indicar la duración y la temperatura del ensayo, de la siguiente manera (NTE INEN 927, 2013, p. 8):

$$\text{Corrosión a la lámina de cobre } \left(\frac{X, h}{Y, ^\circ\text{C}} \right), \text{ Clasificación } Z_p \quad (7)$$

Donde:

X = Duración del ensayo, horas

Y = Temperatura del ensayo, $^\circ\text{C}$

Z = Categoría de clasificación (1, 2, 3 o 4)

p = Descripción de la clasificación para la correspondiente categoría de clasificación Z (a o b).

- Protocolo para la instalación de la ECU programable

La fase de instalación de la ECU programable consiste básicamente en instalar una computadora que permita elaborar un mapa motor donde se establece parámetros de carga de combustible y avance de la chispa, que garantice tener un funcionamiento estable en el motor al momento que entre en funcionamiento con el combustible alternativo (gasolina/metanol).

La computadora programable que se utiliza para la realización del proceso experimental es la *Megasquirt II* destinada para proyectos académicos relacionados con la inyección electrónica de combustible, principalmente son controladores eléctricos experimentales de inyección de combustible programables de bricolaje que bajo la experticia del programador va estableciendo estos parámetros de inyección. Los controladores *MegaSquirt* funcionan en cualquier motor de encendido por chispa de combustible líquido, aspirado naturalmente o impulsado (hasta 21 psi de impulso con el sensor MAP estándar) (MegaSquirt, 2013, párr.6).

El controlador de inyección electrónica utiliza sensores estándar como temperatura del refrigerante, temperatura del aire de admisión, posición de la aleta de aceleración, gases de escape e impulso de inyección para la inyección de combustible. *MegaSquirt II* es básicamente una tarjeta de procesador enchufable con procesador MC9S12 y hardware de soporte, así como un chip de motor paso a paso, y un controlador de módulo de encendido, obsérvese la Figura 11-2, donde se evidencia la placa de la computadora programable es de tipo V3.57, es principalmente un dispositivos de montaje en superficie (SMD), y no es una placa de bricolaje (Bowling y Grippo, 2007; citado en Navas Escudero y Sánchez Villarroel, 2016, p.37).



Figura 11-2: Placa electrónica *MegaSquirt II*

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La computadora programable para que funcione requiere que se elabore un arnés de cables especial para la comunicación de la computadora con los sensores y actuadores del motor a través del DB37. El arnés de cables debe regirse al diagrama específico para *MS II* (ANEXO F).

La interacción entre diversos componentes electrónicos y eléctricos, así como puertos de comunicación permitirán elaborar el mapa motor requerido para el combustible alternativo que se va a implementar en el sistema de alimentación del motor. La Figura 12-2 muestra cómo va a realizarse la interacción de diversos componentes, partiendo desde la computadora programable *MS II* que a través del puerto de comunicación DB37 va a poderse comandar el trabajo coordinado de los sensores y de los actuadores, pero antes de aquello es indispensable establecer parámetros de programación en la ECU programable a través del puerto de comunicación DB9 que permite comunicarse directamente con una computadora portátil, misma que mediante el software *TunerStudioMS* se va a llegar a realizar la programación de la computadora.

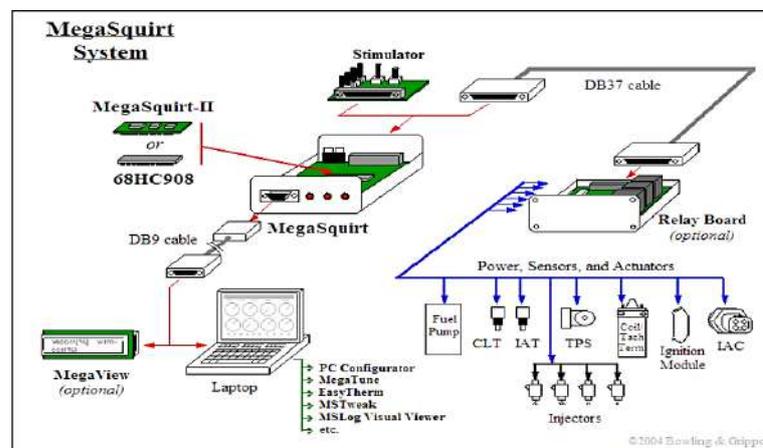


Figura 12-2: Proceso para la programación de *MegaSquirt II*

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La programación de la inyección se realiza en base a mapas y tablas que representan los valores estequiométricos de la mezcla aire-combustible. Antes de arrancar el motor por primera vez, se debe ingresar los parámetros operativos iniciales en la ECU programable, a través de la cual puede arrancar el motor y acceder a la programación. La programación de la ECU *MegaSquirt II* nos permite modificar el tiempo de ignición e inyección, correcciones en función de la temperatura del aire o líquido refrigerante y eficiencia volumétrica del motor (Navas Escudero y Sánchez Villarroel, 2016, p. 39). La Figura 13-2 indica la interfaz inicial del software *TunerStudio MS*, donde es necesario realizar unas calibraciones iniciales para poder asegurar de que la computadora programable esté funcionando con normalidad y de esta manera tener una referencia fiable para poder iniciar con la programación.

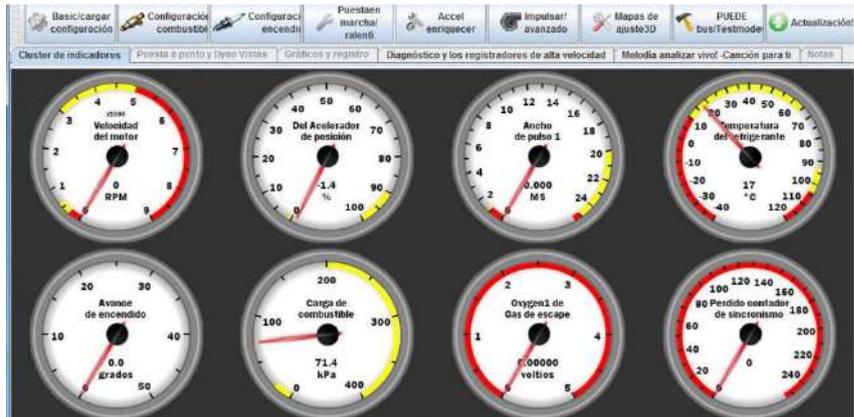


Figura 13-2: Parámetros de funcionamiento del motor con *MS II*

Fuente: (Software TunerStudioMS)

La programación implica ir especificando parámetros de programación como el tipo de sensor de oxígeno que se va a utilizar entre muchos más. Los parámetros más relevantes que se deben prestar mayor atención son los que se indican en la Figura 14-2 (Navas y Sánchez, 2016, p.9), donde en a) es indispensable indicar a la computadora programable cuántos dientes dispone la rueda fónica, así como los dientes perdidos, debido a que este aspecto va a estar relacionado de manera directa con la funcionalidad del CKP. En b) se debe establecer las especificaciones del motor, como se observa se debe indicar la cilindrada y número de cilindros del motor, así como la relación aire/combustible base con la que se desea partir la programación y, c) especificar la capacidad del inyector, a su vez indicar si este es de alta o baja impedancia, todos estos son parámetros elementales para garantizar una programación correcta que permita que el motor trabaje de una manera estable y de esta manera no tener inconvenientes al momento de ejecutar el proceso experimental.



Figura 14-2: Parámetros elementales para la programación

Fuente: (Software TunerStudioMS)

El proceso de mapeo de inyección es realizado a través de un proceso de interpolación, el cual consiste en la obtención de nuevos puntos partiendo de un conjunto de puntos dados. La interpolación es el método que se aplica para la construcción de los mapas de inyección. El mapa de inyección se construye dependiendo las necesidades del motor y los requerimientos del sistema de inyección (Navas y Sánchez, 2016, pp.47-48). La Figura 15-2 muestra la manera en la que se presenta la interfaz de programación para ir estableciendo parámetros de inyección de combustible, partiendo desde una programación referencial. La programación para los parámetros de inyección se lo realiza con el motor en funcionamiento.

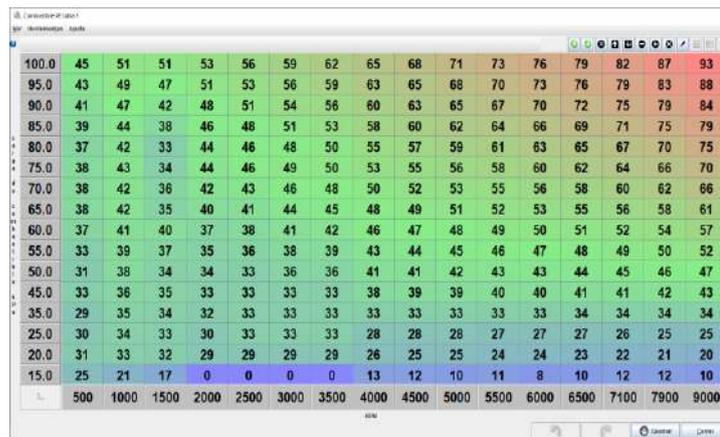


Figura 15-2: Ajuste de carga de combustible

Fuente: (Software TunerStudioMS)

La Figura 16-2 muestra la interfaz de programación para el parámetro de aire/combustible indispensable para el funcionamiento del motor, para la eficaz programación en este apartado es fundamental la presencia de un sensor de oxígeno de banda ancha. La relación aire/combustible está dada como una relación por volumen para la gasolina. Una relación de 16.5:1 aproximadamente, ahorra combustible a velocidades y cargas bajas del motor, en cambio que una relación de 12.5:1 proporciona potencia máxima a altas cargas y revoluciones por minuto (Vásquez López, 2014, pp.50-51).

100.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.2	12.2	12.2
95.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.3	12.3
85.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4
80.0	13.0	13.0	13.1	13.0	13.0	12.9	13.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
75.0	13.2	13.2	13.5	13.3	13.3	13.2	13.0	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5
70.0	13.4	13.4	13.9	13.7	13.6	13.6	13.1	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6
60.0	13.5	13.8	14.5	14.3	14.1	14.1	13.5	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6
55.0	13.6	14.1	15.0	14.9	14.7	14.7	14.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6
50.0	13.5	14.0	15.2	15.2	15.0	14.7	14.0	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6
45.0	13.4	13.9	15.5	15.5	15.4	14.8	13.9	13.0	12.9	12.8	12.6	12.7
35.0	13.2	13.6	15.7	15.7	15.5	14.9	14.2	13.2	13.0	12.9	12.8	12.7
30.0	13.0	13.5	16.0	16.0	16.0	14.9	14.3	13.2	13.1	13.2	13.1	13.0
	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

Figura 16-2: Ajuste relación aire/combustible (A/F)

Fuente: (Software TunerStudioMS)

La Figura 17-2 muestra una tabla que indica el avance del encendido al momento que se produce la chispa, medido en grados antes del PMS (punto muerto superior), se produce antes de que el pistón llegue al punto más elevado del cilindro, el combustible requiere cierto tiempo para quemarse y se necesita que se genere una combustión elevada cuando el vehículo esté en marcha, por lo consiguiente el momento en que se produce la chispa se debe generar un avance en grados acorde con el aumento en la velocidad del motor (Vásquez López, 2014, pp.52-53). El avance del encendido se hace con el motor caliente y marcha en vacío, verificando que el avance sea el adecuado, teniendo en cuenta que los valores antes del punto muerto superior (APMS) son positivos y negativos después del punto muerto superior (DPMS).

85.0	14.4	14.7	15.2	15.6	16.4	16.7	17.1	17.4	17.6	18.4	19.1	19.9
80.0	14.4	14.7	15.2	15.6	16.5	16.9	17.2	17.6	17.8	18.7	19.4	20.2
75.0	14.4	14.7	15.2	15.7	16.5	17.0	17.4	17.9	18.1	18.9	19.7	20.5
70.0	14.4	14.7	15.2	15.7	16.6	17.1	17.6	18.1	18.3	19.2	20.0	20.8
65.0	14.4	14.7	15.3	15.8	16.6	17.2	17.7	18.3	18.6	19.4	20.3	21.1
60.0	14.4	14.7	15.3	15.8	16.7	17.3	17.9	18.5	18.8	19.7	20.6	21.4
55.0	14.4	14.8	15.3	15.8	16.8	17.4	18.1	18.7	19.0	19.9	20.8	21.7
50.0	14.4	14.8	15.3	15.9	16.8	17.5	18.2	18.9	19.3	20.2	21.1	22.1
45.0	14.4	14.8	15.3	15.9	16.9	17.6	18.4	19.1	19.5	20.5	21.4	22.4
40.0	14.4	14.8	15.4	16.0	17.0	17.8	18.6	19.4	19.7	20.7	21.7	22.7
30.0	14.4	14.8	15.4	16.0	17.1	18.0	18.9	19.8	20.2	21.2	22.3	23.3
20.1	14.4	14.8	15.5	15.9	16.6	17.9	19.2	20.2	20.7	21.8	22.8	23.9
	701	900	1200	1500	2000	3000	4000	5000	5500	6000	6500	7000

Figura 17-2: Ajuste de avance de encendido

Fuente: (Software TunerStudioMS)

2.4.1.2 Protocolo para la ejecución de las pruebas

La realización de las pruebas para la obtención de las curvas de torque y potencia se las efectuara mediante la utilización de Banco Dinamométrico FA 200/30 SP (Figura 18-2), es una máquina que sirve para verificar el funcionamiento y determinar diferentes parámetros, como la carga que pueden soportar diferentes motores, y la misma se ve afectada por diferentes velocidades, nos permitirá obtener datos de par y potencia efectiva. La carga en el motor viene dada por el campo magnético en el estator del dinamómetro, generado por una bobina interna y accionado por un potenciómetro manual (Freire Torres y Fiallos Cuadrado, 2015, p. 64).



Figura 18-1: Dinamómetro de motor FA 200/30 SP

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El motor se debe acoplar mediante una junta cardán o un acople flexible hacia el estator como se indica en la Figura 19-2, esto ocasionará que a través de sus bobinas se genere una carga y esta sea transmitida directamente hacia el eje principal del motor de combustión interna, permitiendo así observar el comportamiento del motor a diferentes revoluciones y diferente carga. La carga que generara el banco dinamométrico es en sentido contrario al giro del motor, producto de esto se generara un campo electromagnético en el sentido opuesto que genera un par resistivo que actúa como freno y hace que el motor este sometido a un esfuerzo que viene determinado por la fuerza del campo electromagnético, al estar sometido el banco a esfuerzo se genera calor mismo que será disipado por un sistema de refrigeración a través de ductos internos en el estator e impulsados por un motor externo eléctrico evitando así posibles sobrecalentamientos todo este sistema de refrigeración sustituye al tradicional sistema existente en los vehículos debido a que no va a ver la presencia del radiador (Freire Torres y Fiallos Cuadrado, 2015, p. 64).



Figura 19-2: Conexión directa entre el estator y eje principal del motor (junta cardán)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La adquisición de datos para el torque y potencia se las obtendrá a través del software *LabVIEW* que permitirá de una manera digital observar los datos adquiridos en diferentes gráficas para la posterior tabulación de datos tal como se logra observar la Figura 20-2, esta interfaz estará conectada de manera directa con el banco dinamométrico. La funcionabilidad de esta interfaz se centra en los dos manómetros digitales que se observan en la Figura 20-2 ya que uno de ellos muestra la carga generada en kg, generada por el campo magnético producido por las corrientes parásitas, el segundo manómetro digital recibe la señal directa de un sensor de tipo inductivo que capta el giro de una rueda dentada que gira solidario al eje cardán del dinamómetro para la obtención de las revoluciones (RPM), todo esto para la obtención de las curvas de torque y potencia. La presencia de un sensor ubicado en el tablero de mando del dinamómetro marcará la temperatura y humedad ambiental existente en el instante en el cual se desarrollan las diferentes pruebas.

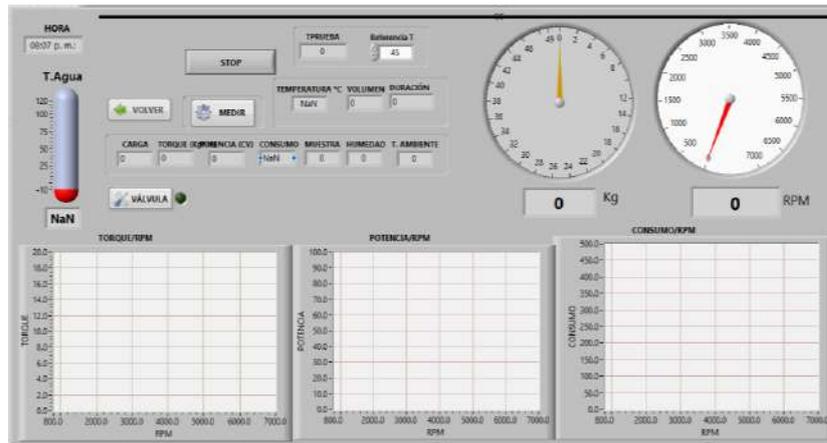


Figura 20-2: Interfaz LabView para recolección de datos

Fuente: (Software LabView)

La variable de estudio emisiones de gases, se va a poder cuantificar con la ayuda del equipo Analizador de gases portátil Kane auto plus 4-2, este equipo permite que a través de una sonda que se ubica en el tubo de escape del motor (Figura 21-2), va a permitir detectar los gases producto de la combustión, mismos que van a ser cuantificados para su posterior tabulación y análisis de los datos obtenidos. Las especificaciones técnicas que posee este equipo analizador de gases son las que se indican en el ANEXO G.



Figura 21-2: Equipo analizador de gases Kane Autoplus 4-2

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La normativa a considerar para el análisis de gases de combustión es la que se fundamenta en toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las especificadas en la Tabla 2-2 (NTE INEN 2204, 2017, p.3).

Los límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática son los siguientes):

Tabla 2-2: Límites máximos de emisiones permitidos (prueba estática)

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 - 1500	1500 - 3000	0 - 1500	1500 - 3000
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Fuente: (NTE INEN 2204, 2017)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La consideración adicional a tener en cuenta es que los resultados de emisión de gases se expresaran en consumo específico (g/kWh), en función de los valores obtenidos en el analizador de gases haciendo uso de la ecuación 8 (Pilusa, Mollagee y Muzenda, 2012, p. 1).

$$EP_i = EV_{i,d} * \left(\frac{M_i}{M_{Exh,d}} * \frac{m_{Exh,d}}{P_{eff}} \right) \quad (8)$$

Donde:

$EV_{i,d}$: Valor de las emisiones de escape de los componentes en base seca, i, como porcentaje de volumen (ppm)

M_i : Masa molecular de los componentes, i, (g/mol)

$M_{Exh,d}$: Masa molecular de los gases de escape en base seca (g/mol)

$m_{Exh,d}$: Caudal másico de escape (kg/h)

P_{eff} : Potencia de salida (kW)

El motor utilizado para la realización de las pruebas experimentales para la obtención de las curvas de torque y potencia; así como el análisis de emisión de gases es el que se observa en la Figura 22-2, es un motor Chevrolet Aveo del año 2008 de ciclo Otto de cuatro tiempos de encendido por chispa (SI), las especificaciones técnicas del motor se indican en la Tabla 3-2 y demás datos de interés se profundiza en los ANEXOS H, I.



Figura 22-2: Motor Chevrolet Aveo 1.6 L

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante son importantes para tener un punto de referencia de los datos emitidos de torque y potencia del motor (Tabla 3-2), debido a que el combustible alternativo (gasolina/metanol) que va a ser el artífice principal para que se presenten variantes en las variables de estudio van a requerir un análisis minucioso para establecer si existe mejoría o no en el rendimiento del motor.

Tabla 3-2: Características principales del motor

Modelo	CHEVROLET AVEO 1.6 LTZ
Alimentación de combustible:	Inyección electrónica multipunto (gasolina)
Tipo:	Doble árbol de levas en cabeza (DOHC) – 4 cilindros en línea
Cilindrada:	1598 cm ³
Potencia:	85 kW @ 6000 rpm
Torque:	155 Nm @ 4000 rpm
Relación de compresión:	10,8

Fuente: (Coches y concesionarios, 2015)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

2.4.1.3 *Protocolo para la evaluación de los resultados*

El procedimiento para la evaluación de los resultados que se obtengan en las diferentes pruebas de ensayo con los diferentes combustibles alternativos propuestos, debe optarse por un análisis estadístico que permita analizar los valores obtenidos en función de las revoluciones del motor (RPM) permitiendo tener una noción clara de que combustible ofrece una mayor potencia o un mayor torque todas estas bajo qué régimen de motor, como se indica en la Figura 23-2, mismo

Bajo estas consideraciones el apartado de análisis estadístico se centrará en velocidades de giro del motor (RPM) específicas, es decir, en las velocidades del motor donde se registre el punto máximo de potencia que está bordeando alrededor de las 6000 RPM y torque máximo en las 4500 RPM aproximadamente. Mientras que para el caso de emisiones de gases medibles de CO₂, CO y HC se realizó las mediciones, en concreto, a baja, media y alta velocidad de giro del motor, con lo cual, para el apartado de la variable de emisiones se consideró una velocidad media de giro del motor aproximadamente a las 3000 RPM.

Estos aspectos fundamentales son los que se tomaron en cuenta para plantear los análisis estadísticos expresándolos tal como se muestra en la Figura 24-2.

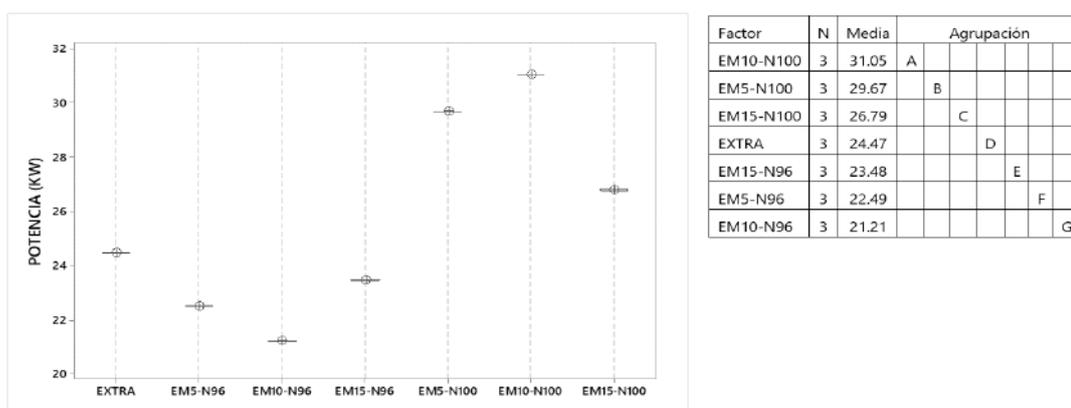


Figura 24-2: Planteamiento para expresar el análisis estadístico para las variables de estudio

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las consideraciones a tener en cuenta para la fácil comprensión del estadístico LSD de Fisher es: a) se establece como factor a cada combustible alternativo considerado para el análisis, b) la asignación de los valores medios, derivan de un conjunto de datos obtenidos de un muestreo de 3 repeticiones para cada variante de las variables de estudio, c) basándose en el valor medio de los conjuntos de datos se ordenarán de mayor a menor y d) en el apartado de agrupación se asignará una letra mayúscula, donde si se asignase la misma letra para dos o más combustibles, el estadístico establece que los valores medios son significativamente iguales, caso contrario si se asignase letras diferentes en los combustibles implicaría que significativamente los valores medios llegan a ser diferentes, para efectos demostrativos tal como se llega apreciar en la Figura 24-2.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Resultados de la instalación de computadora programable *MS II*

La instalación de la computadora programable *MS II* para su funcionalidad está distribuida en tres secciones: 1) Computadora programable y arnés de cables, 2) Caja de fusibles y 3) relés automotrices, dispuestos como se observa en el ANEXO J.

La elaboración de los mapas de motor adecuados para el normal funcionamiento del motor Chevrolet Aveo 1.6L son los que muestran en la Figura 1-3, estos mapas de motor corresponden a los parámetros de programación de; carga de combustible, relación aire/combustible y avance de la chispa. La manera de presentar los mapas del motor es a través de una superficie tridimensional (3D), donde cada eje corresponde a un parámetro específico, para su mejor entendimiento, el eje (x) corresponde a la Presión en el Múltiple de Admisión emitido por el sensor MAP en kPa, mientras que el eje (z) pertenece al régimen de giro del motor en RPM y para el caso específico del eje (y) corresponden: a) carga de combustible, b) relación aire/combustible y c) avance de encendido.

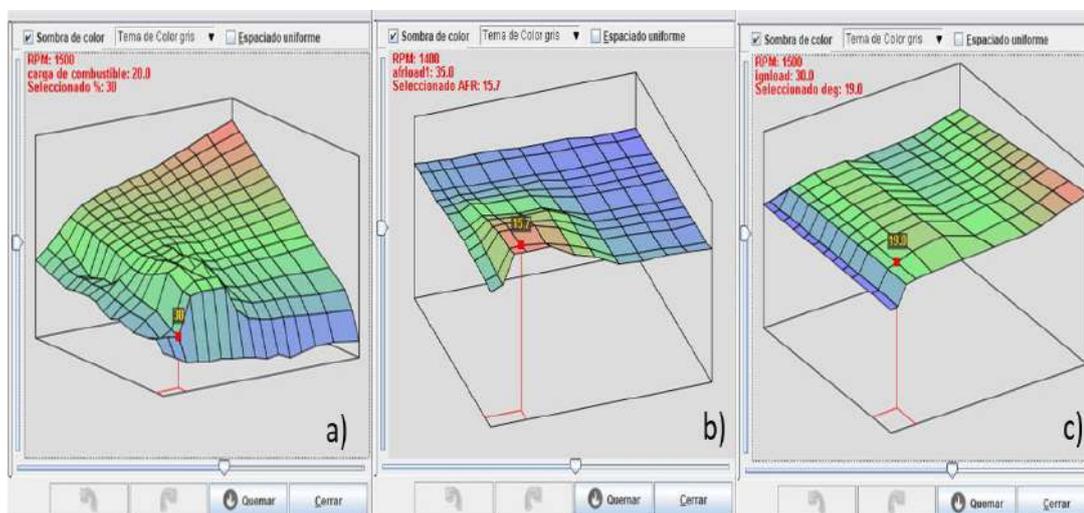


Figura 1-3: Mapas de motor elaborados para el motor Chevrolet Aveo 1.6L

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El software de programación de la computadora *MS II* dispone de un complemento llamado *MegaLogViewer* que permite monitorear el funcionamiento del motor en tiempo real. Para el

caso puntual del motor Chevrolet Aveo 1.6L se efectuó un monitoreo para comprobar que el funcionamiento del motor sea estable, la Figura 2-3 muestra unas líneas de monitoreo esenciales para el normal funcionamiento del motor tales como; la línea roja representa el régimen de giro del motor en RPM, la carga de presión de aire en el múltiple está representada por la línea verde, también permite registrar presión de carga durante el encendido (ignición de la mezcla) y la línea amarilla muestra el porcentaje de apertura de la aleta de aceleración registrada por el sensor TPS. Lo concluyente de este monitoreo en tiempo real es que permite confirmar que los lineamientos considerados para la programación son los adecuados debido a que el funcionamiento del motor es estable.

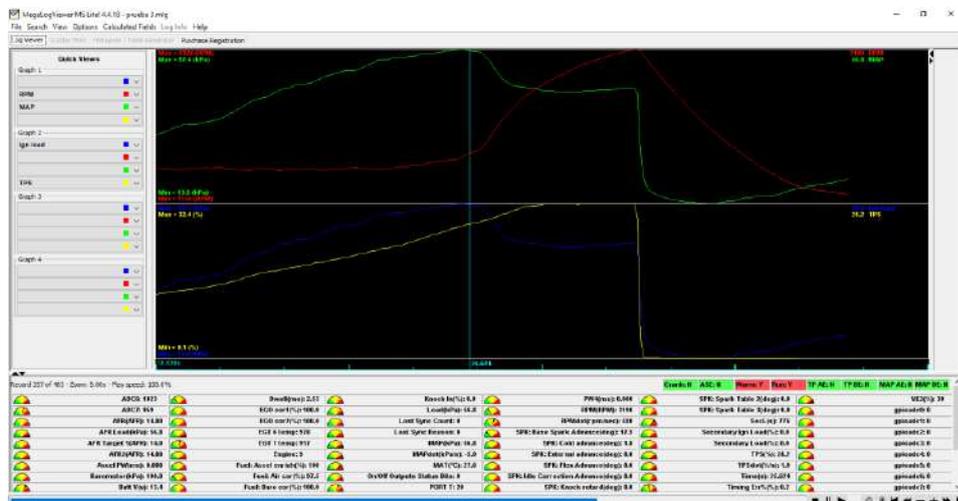


Figura 2-3: Monitoreo del funcionamiento del motor con la computadora MS II

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

3.2 Resultados de análisis de combustibles

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas ejecutadas en el laboratorio se los indicará a continuación, cabe indicar que como normativa de referencia se considerara a la INEN 935:2020, la cual es la que sustenta la composición de los combustibles EXTRA y SUPER que se comercializan en el país, donde pruebas como destilación fraccionada y corrosión de lámina de cobre se las ha podido comparar con la normativa base de los combustibles (INEN 935), llegándose a considerar pruebas especiales como densidad, viscosidad y punto de inflamación, las cuales no constan en la normativa anteriormente considerada, pero sin embargo son propiedad fundamentales en los combustibles.

La densidad es una propiedad importante para considerar en los combustibles debido a que incide de manera directa en la funcionalidad de los modernos sistemas de inyección de combustible, producto de que la masa de combustible que es inyectada en la cámara de combustión depende de la densidad, porque pueden llegarse a presentar diversas variaciones de la relación de aire/combustible durante la funcionamiento del motor, las cuales deben ser reguladas por un sistema de control adecuado.

La viscosidad cinemática, se ha tomado la determinación en analizar esta propiedad por el mismo hecho de la gasolina se mezcló con metanol, lo que interesa es conocer si la presencia de este combustible alternativo va a presentar fricción interna o resistencia en los diferentes elementos que conforman el sistema de alimentación hasta el punto de interés que son los inyectores para la posterior atomización del combustible en la cámara de combustión.

El punto de inflamación también se consideró, debido que se cuenta con el aliciente de que el metanol es un alcohol que posee un punto de inflamación bajo respecto al de la gasolina, por se llegó a considerar a esta propiedad química dentro del análisis de laboratorio para el combustible alternativo.

3.2.1 *Resultados de las pruebas fisicoquímicas del combustible alternativo*

La Tabla 1-3 muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas planteadas, se muestran los resultados para la variante de gasolina EXTRA con metanol al 96% en pureza, donde partiendo de los resultados referenciales de la gasolina EXTRA en estado puro, es decir, sin la presencia de metanol (0%) se logra evidenciar que, en primera instancia para la densidad, a medida que la cantidad porcentual de metanol (%v/v) va aumentando la densidad del combustible alternativo aumenta. Los resultados para viscosidad cinemática indicaron que si se le añade metanol a la gasolina no incide de manera negativa, llegando a obtenerse valores similares a la misma gasolina. El ensayo del punto de inflamación demostró que, al ser mezclado la gasolina con metanol, ocasionaría que la temperatura necesaria para la inflamación registrado es menor a 34 °C. Las pruebas de destilación fraccionada y corrosión de lámina de cobre comparándolas con los valores establecidos en la Norma INEN 935 no varían de manera considerable.

Tabla 1-3: Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Extra con N96

Propiedades del combustible	Normativa	Extra-Pura	EM5-N96	EM10-N96	EM15-N96	Norma INEN 935:2020
-----------------------------	-----------	------------	---------	----------	----------	---------------------

Densidad API (kg/m ³)	INEN: 2903-2015	737	740	742	768	735-785
Viscosidad cinemática (mm/s ²)	INEN: 810-2013	0,74	0,74	0,74	0,77	< 1
Punto de inflamación (°C)	INEN:1493- 2013	34	< 34	< 34	< 34	-
Destilación fraccionada (°C)	10%	34	42	42	46	70
	50%	96	110	92	110	121
	90%	178	175	178	180	189
	PFE	182	185	180	185	220
	RD(% ^b)	1,8	2,1	1,5	2,3	2
Corrosión – lámina de cobre (3h a 50°C)	INEN: 927-1982	1a	1a	1a	1a	1a

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Los resultados obtenidos para la variación de combustible constituida de gasolina EXTRA con metanol al 100% de concentración son los que se muestran en la Tabla 2-3, donde para los casos puntuales de las pruebas para las propiedades de densidad y viscosidad los resultados obtenidos muestran que no difieren de manera considerable con los valores referenciales de la gasolina extra pura; mientras que la prueba de punto de inflamación muestra que de igual manera se alcanza un menor punto térmico para que se llegue a inflamar la mezcla de combustible alternativo. Las pruebas realizadas para las propiedades de destilación fraccionada y corrosión de la lámina de cobre; indican que de manera particular el punto final de ebullición (PFE) se efectúa a menor temperatura (220 °C) con relación a la expresada en la norma INEN 935 y la categorización denotada con 1 demuestra que no existiría corrosión en los metales con la implementación de metanol, respectivamente.

Tabla 2-3: Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Extra con N100

Propiedades del combustible	Normativa	Extra-Pura	EM5-N100	EM10-N100	EM15-N100	Norma INEN 935:2020
Densidad API (kg/m ³)	INEN: 2903-2015	737	738	740	770	735-785
Viscosidad cinemática (mm/s ²)	INEN: 810-2013	0,74	0,74	0,74	0,77	< 1
Punto de inflamación (°C)	INEN:1493-2013	34	<34	<34	<34	-

Destilación fraccionada (°C)	10%	INEN: 926-1982	60	42	38	38	70
	50%		108	110	78	86	121
	90%		178	176	168	164	189
	PFE		182	184	180	182	220
	RD(% ^b)		1.2	2.4	1.7	1.3	2
Corrosión – lámina de cobre (3h a 50°C)		INEN: 927-1982	1a	1a	1a	1a	1a

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La consideración de la gasolina SUPER con la variante de metanol con 96% de pureza muestra que la densidad va en aumento a medida que la fracción volumétrica de metanol incrementa, sin embargo, no llega repercutir de manera negativa en el normal funcionamiento del motor, en cuanto a la viscosidad cinemática bordea valores similares a los expresados para la gasolina super sin metanol, el punto de inflamación al igual que en los casos anteriormente mencionados sigue por debajo de la temperatura referencial de 34.3°C. La implementación del metanol de 96% de pureza en la gasolina de 92 octanos (super) muestra que la corrosión de lámina de cobre se sigue manteniendo en la categoría 1, lo cual es un indicativo favorable de que esta variante no va a existir corrosión, mientras que para la destilación se sigue asemejando a los rangos térmicos de destilación expresados en la norma INEN 935 (Tabla 3-3).

Tabla 3-3: Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Super con N96

Propiedades del combustible		Normativa	Super-Pura	SM5-N96	SM10-N96	SM15-N96	Norma INEN 935:2020
Densidad API (g/ml)		INEN: 2903-2015	0,75	0,75	0,75	0,78	0,71-0,72
Viscosidad cinemática (mm/s ²)		INEN: 810-2013	0,75	0,75	0,75	0,78	< 1
Punto de inflamación (°C)		INEN:1493- 2013	34,3	< 34,3	< 34,3	< 34,3	-
Destilación fraccionada (°C)	10%	INEN: 926-1982	46	36	38	39	70
	50%		104	103	84	94	121
	90%		164	178	178	180	189
	PFE		186	182	183	182	220
	RD(% ^b)		1,2	1,7	1,5	1,9	2
Corrosión – lámina de cobre		INEN: 927-1982	1a	1a	1a	1a	1a

(3h a 50°C)						
-------------	--	--	--	--	--	--

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El ensayo de corrosión de la lámina de cobre realizado en gasolina super con la implementación de metanol con 100% de pureza indico que la categoría 1 no incide en corrosión en los metales apegándose a lo establecido por la norma INEN 935, mientras que los resultados obtenidos en la prueba de destilación fraccionada para llegar a destilar los combustibles ligeros como el mismo alcohol requería una mayor temperatura (70 °C) con respecto a lo establecido en la norma.

El caso particular del ensayo de punto de inflamación se mantiene en el rango por debajo de 34.3°C que ha llegado a ser una constante para todas las variantes de combustible planteadas para el proceso experimental. Las propiedades de densidad y viscosidad siguen manteniéndose dentro de parámetros admisibles muy cercanos a los referenciales de la gasolina, Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Resultados pruebas fisicoquímicas en Gasolina Super con N100

Propiedades del combustible		Normativa	Super-Pura	SM5-N100	SM10-N100	SM15-N100	Norma INEN 935:2020
Densidad API (g/ml)		INEN: 2903-2015	0,75	0,75	0,75	0,78	0,71-0,72
Viscosidad cinemática (mm/s ²)		INEN: 810-2013	0,75	0,75	0,75	0,78	< 1
Punto de inflamación (°C)		INEN:1493- 2013	34,3	< 34,3	< 34,3	< 34,3	-
Destilación fraccionada (°C)	10%	INEN: 926-1982	46	32	38	36	70
	50%		104	90	98	88	121
	90%		164	167	178	180	189
	PFE		186	178	180	182	220
	RD(% ^b)		1,9	1,9	2,1	1,9	2
Corrosión – lámina de cobre (3h a 50°C)		INEN: 927-1982	1a	1a	1a	1a	1a

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Es relevante indicar que las propiedades de los combustibles densidad y viscosidad no están contempladas en la normativa INEN 935, es por ese motivo que en la tabulación de los resultados de las pruebas fisicoquímicas no se muestra, sin embargo, hay requerimientos técnicos establecidos para los combustibles. Estos requerimientos técnicos son los que rigen y

en el cual se sustentan los combustibles que se comercializan en el país. En los Anexos I, J se especifican otras propiedades que deben poseer los combustibles extra y super respectivamente. Además, en los Anexos K y L se muestran las curvas de destilación obtenidas del ensayo de destilación fraccionada con combustibles extra y super con sus respectivas variaciones de pureza de metanol (N96 y N100), donde se puede observar claramente que los puntos de ebullición de los diversos compuestos livianos y pesados de los combustibles llegan a destilarse a temperaturas menores a las que se llegaron a registrar con los combustibles base, alcanzándose una pendiente de curva menor a la obtenida con la curva estándar.

3.3 Resultados de emisiones de gases obtenidas con los combustibles alternativos

Los resultados para emisiones de gases que se han obtenido del motor Chevrolet Aveo 1.6L con gasolina EXTRA de 87 octanos considerando diferentes proporciones volumétricas de metanol con concentración de 96% y 100% de pureza de metanol arrojo lo siguiente considerándose 3 repeticiones para cada tipo de combustible planteados a utilizar para el estudio experimental:

La Tabla 5-3 muestra los resultados de emisiones del gas dióxido de carbono (CO₂) obtenidos del analizador de gases Kane Autoplus 4-2, donde se puede apreciar que considerando el metanol N96 la concentración de gas va disminuyendo a medida que la velocidad del motor aumenta, presentándose esta particularidad con las tres variantes M5, M10 y M15. Distinta situación se consigue con el metanol N100, el cual permite que la concentración de CO₂ vaya incrementando a medida que la velocidad del motor incrementa exceptuando el combustible M15.

Tabla 5-3: Resultados obtenidos de CO₂ con gasolina extra y metanol con 96% y 100%

CO ₂ (%)	EXTRA	EM5-N96	EM10-N96	EM15-N96	EM5-N100	EM10-N100	EM15-N100
1100	12,5	12,5	12,6	12,5	12,7	12,8	12,7
3000	12,3	12,3	12,2	12,1	12,7	12,9	12,8
5000	12,1	12,3	12,2	12,1	13,1	13,2	12,8
Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en %							

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El Grafico 1-3 nos permite tener una noción más amplia de los resultados obtenidos del gas CO₂, el cual obsérvese lo obtenido con metanol N96 se puede observar que bajo las condiciones

que presentan estos combustibles hay una menor demanda de combustible, pero al analizar el consumo específico (g/kW-h) de los combustibles conformados con metanol N100 permiten alcanzar una mayor concentración de gas esto debido a que molecularmente el metanol más puro aporta con más oxígeno implicando de esta manera un mayor consumo de cantidad de combustible.

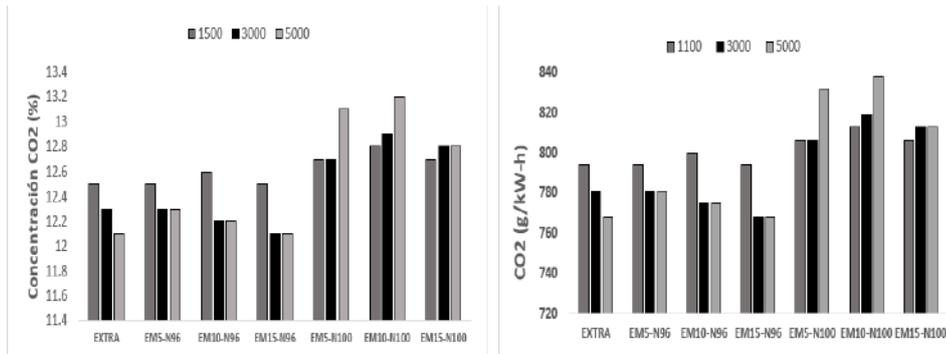


Gráfico 1-3: Resultados de CO₂ con Gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 6-3 muestra los resultados de la medición para el gas CO, el cual permitió deducir que los combustibles con menor concentración de metanol (N96), debido a la presencia de otros alcoholes y partículas de agua ocasiona que la concentración de este gas incremente con relación a las mediciones obtenidas con el combustible EXTRA, ahora considerando los mismos valores de medición obtenido del combustible estándar para los combustibles con metanol más puro (N100) se evidencia que existió una disminución leve en la concentración de este gas, mucho más notorio cuando la velocidad del motor aumenta. Esta disminución en la concentración del gas se la asocia a las prestaciones que ofrece el metanol ya que molecularmente el metanol aporta con más carbono al combustible, permitiendo de esta manera que la combustión sea más limpia.

Tabla 6-3: Resultados obtenidos de CO con gasolina extra y metanol con 96% y 100%

CO (%)	EXTRA	EM5-N96	EM10-N96	EM15-N96	EM5-N100	EM10-N100	EM15-N100
1100	1,6	1,61	1,61	1,63	1,55	1,42	1,52
3000	1,54	1,57	1,6	1,58	1,56	1,28	1,45
5000	1,42	1,42	1,48	1,49	1,41	1,25	1,38

Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en %

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Un análisis más amplio es el que se aprecia en el Gráfico 2-3 ya que complementa lo anteriormente mencionado, es decir, que si se observa el consumo específico para CO se aprecia claramente que las emisiones con N96 demanda de mayor cantidad de combustible, mientras que para el caso de combustibles con N100 se logra observar que existe un menor consumo específico con relación con los combustibles N96, de esta manera incidiendo en la disminución de concentración de CO, llegando a ser más notorio con el compuesto M10.

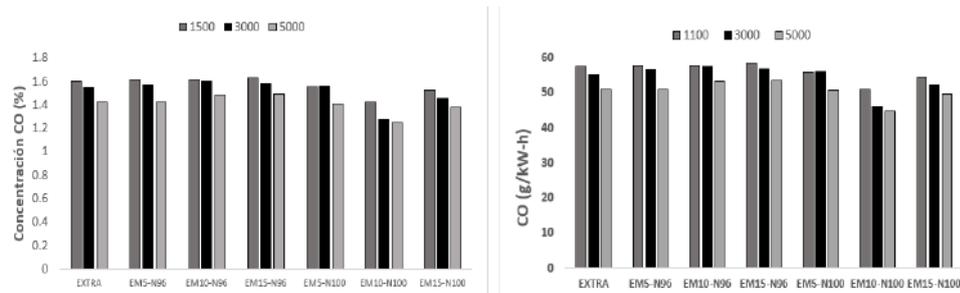


Gráfico 2-3: Resultados de CO con Gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 7-3 muestra los resultados obtenidos para hidrocarburos (HC) donde el análisis radica en los valores de medición obtenidos para combustibles con N96 y N100, se establece en primer lugar para combustibles con metanol N96 se obtuvo un incremento en la concentración de HC para las diferentes velocidad (RPM) referenciales para la medición, pero para los combustibles con metanol N100 tomando como referencia a las mediciones estándar con la gasolina EXTRA se observa que principalmente se evidencia disminución de HC a las 1100 y 5000 RPM.

Tabla 7-3: Resultados obtenidos de HC con gasolina extra y metanol con 96% y 100%

HC (ppm)	EXTRA	EM5-N96	EM10-N96	EM15-N96	EM5-N100	EM10-N100	EM15-N100
1100	300	309	305	307	295	288	305
3000	251	265	275	268	275	256	261
5000	285	271	280	287	263	244	255
Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en ppm							

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

En términos de consumo específico (g/kW-h) para HC se reporta que existe un menor consumo de combustible a medida que la velocidad del motor va en aumento, especialmente con los

combustibles con metanol N100, traduciéndose esto en disminución de concentración de este gas, siendo las mejores opciones con M10 y M15, con concentración de metanol al 100%.

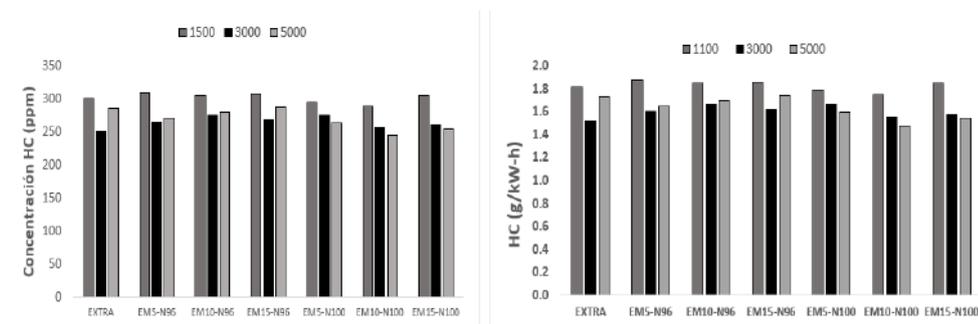


Gráfico 3-3: Resultados de HC con Gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Los resultados de emisiones de gases para los combustibles de base gasolina Super de 92 octanos con concentración de metanol N96 y N100 permiten reportar lo siguiente:

La Tabla 8-3 muestra la misma particularidad evidencia con la gasolina extra con metanol N96, es decir, debido a la presencia de otros alcoholes diferentes al metanol inciden en la combustión de manera negativa, reflejándose en el decrecimiento de la concentración de este gas, el caso de combustibles con metanol N100 al tratarse de metanol puro al 100% incide en el mejoramiento de condiciones para la combustión debido al aporte de moléculas de oxígeno que llegan a favorecer la combustión dentro del cilindro del motor, notándose a las 3000 y 5000 RPM.

Tabla 8-3: Resultados obtenidos de CO₂ con gasolina super y metanol con 96% y 100%

CO ₂ (%)	Super-Pura	SM5-N96	SM10-N96	SM15-N96	SM5-N100	SM10-N100	SM15-N100
1100	12,9	12,8	12,9	12,8	12,8	12,7	12,5
3000	12,6	12,4	12,5	12,6	12,8	12,9	12,7
5000	12,4	12,3	12,3	12,4	12,9	13,1	12,8
Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en %							

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La premisa planteada en apartados anteriores se cumple para combustibles de base gasolina Super, es decir, que basándose en el Grafico 4-3 se puede establecer que para que exista una mayor concentración de CO₂ implicaría de manera directa en una mayor demanda de combustible considerándose metanol N100.

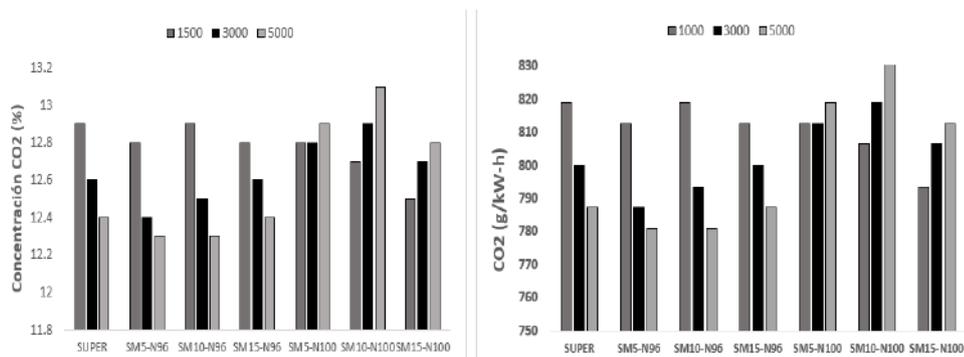


Gráfico 4-3: Resultados de CO₂ con Gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 9-3 muestra los resultados obtenidos para el monóxido de carbono (CO), se pudo registrar que para los combustibles con metanol N96 únicamente a las 5000 RPM se evidencia una leve disminución en la concentración de monóxido de carbono. Para los combustibles conformados con metanol N100 se logra evidenciar que a medida que la fracción volumétrica de metanol aumenta la concentración de gas disminuye (M5 y M10), exceptuando el caso con el compuesto M15 el cual reporta que para las 1100 RPM supera la concentración registrada con el combustible estándar.

Tabla 9-3: Resultados obtenidos de CO con gasolina super y metanol con 96% y 100%

CO (%)	Super-Pura	SM5-N96	SM10-N96	SM15-N96	SM5-N100	SM10-N100	SM15-N100
1100	1,52	1,54	1,55	1,65	1,53	1,39	1,55
3000	1,45	1,49	1,47	1,54	1,32	1,28	1,34
5000	1,39	1,38	1,35	1,41	1,29	1,21	1,35
Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en %							

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El Gráfico 5-3 muestra el consumo específico requerido para el CO, donde a las 1100 RPM se registra mayor consumo para compuestos M15, con metanol N96 y N100, pero lo particular a mencionar es lo reportado con combustibles N100, ya que especialmente se evidencia mayor disminución en el consumo específico de monóxido de carbono para compuestos M5 y M10.

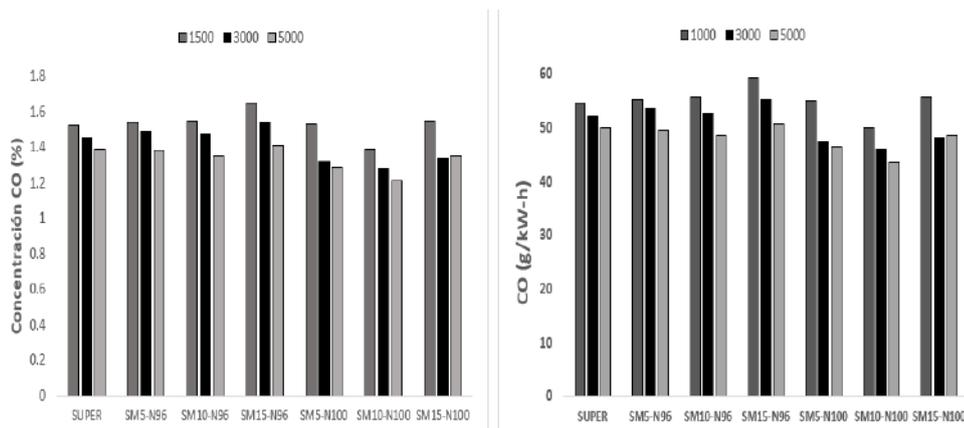


Gráfico 5-3: Resultados de CO con Gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Los resultados de hidrocarburos que se obtuvieron con los diversos combustibles son los que se muestran en la Tabla 10-3, los combustibles con metanol N96 reporta que existe incremento en la concentración de este gas, siendo notorio para las variantes M5, M10 y M15 a las 1100 y 3000 RPM. Para el caso de los combustibles N100, se evidencia disminución en la concentración principalmente a las 1100 y 5000 RPM para todos los compuestos de 5, 10 y 15% de fracción volumétrica de metanol.

Tabla 10-3: Resultados obtenidos de HC con gasolina extra y metanol con 96% y 100%

HC (ppm)	Super-Pura	SM5-N96	SM10-N96	SM15-N96	SM5-N100	SM10-N100	SM15-N100
1100	325	328	335	332	292	282	299
3000	265	275	282	288	278	258	273
5000	275	271	272	281	269	251	264

Nota: Para cada combustible se realizó tres repeticiones, donde cada medida se expresa en ppm

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El Gráfico 6-3 muestra que existe un mayor consumo específico de HC para la velocidad de 1100 RPM con combustibles N96 bordeando valores cercanos a 2 g/kW-h, para el caso de los combustibles con N100 se caracterizan por ir disminuyendo el consumo de HC a medida que la velocidad del va aumentando, siendo más notoria esta disminución con el combustible M10.

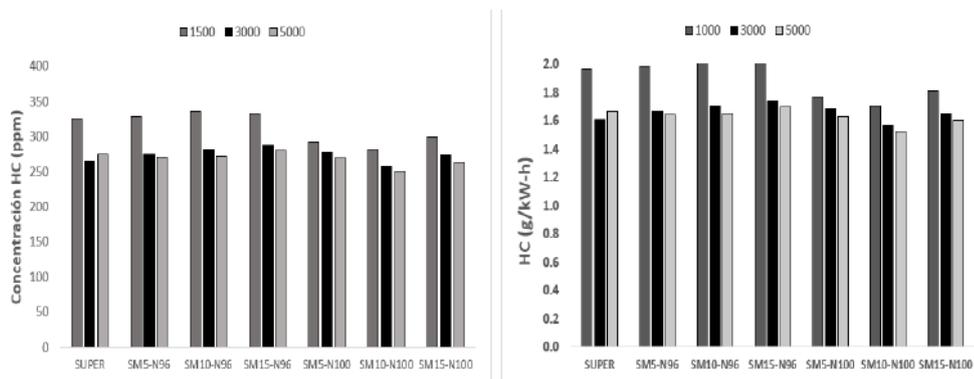


Gráfico 6-3: Resultados de HC con Gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

3.4 Resultados de curvas de torque y potencia obtenidas con el combustible alternativo

La utilización del dinamómetro Borghi & Saveri FA-200/30 SPV permitió la obtención de las curvas de torque y potencia, mediante la recolección de datos en función de un sensor de carga (Kgf), que actúa de acuerdo con el desplazamiento del mecanismo (brazo de acción) al generarse el freno resistivo en el dinamómetro.

Las curvas de potencia obtenidas con el combustible Extra de 87 octanos combinadas con metanol de 86% de concentración son las que se observan en el Gráfico 7-3, donde se evidencia que con ninguna variante de combustible alternativo se obtuvo un incremento de potencia ya que se observa que tomando como referencia a la curva estándar obtenida solamente con gasolina Extra sin ninguna añadidura de metanol se posicionan debajo de dicha curva, permitiendo deducir que con estas variantes de combustibles existen pérdida de potencia.

Las curvas obtenidas con metanol de una concentración más pura, es decir, al 100% permitió obtener ganancias de potencias; tal como se indica en el gráfico, ya que tomando como referencia la misma curva estándar se logra observar que para todas las variantes empleadas para la experimentación se lograron ubicar sobre la curva base, llegando a deducir que para este apartado se logró ganancia en la potencia.

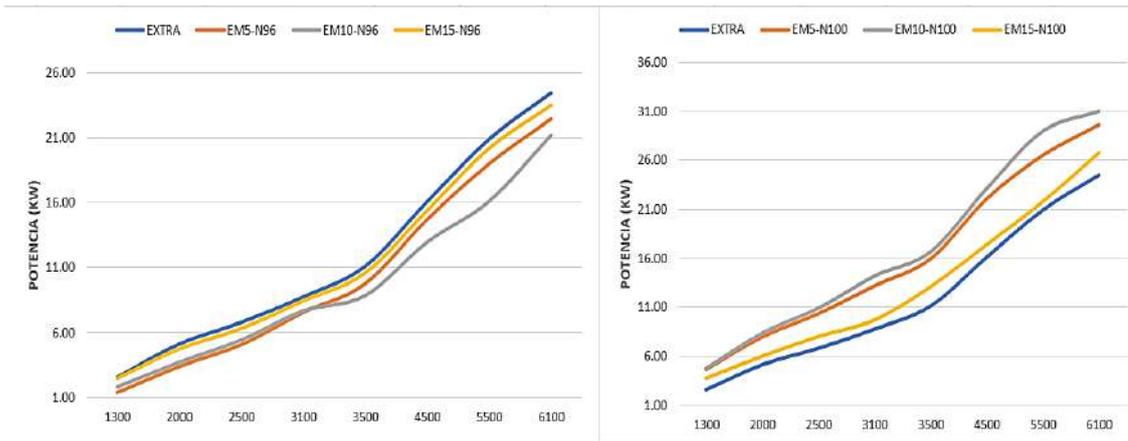


Gráfico 7-3: Curvas de Potencia de los combustibles alternativos de base gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las curvas de torque obtenidas con gasolina Extra permitieron evidenciar que con los combustibles propuestos conformados con metanol al 96% de concentración se presenta disminución en el torque, lográndose ubicar debajo de la curva estándar (EXTRA), indicando que con esta concentración de metanol las prestaciones de los combustibles inciden de manera desfavorable en el desempeño del motor. Mientras que para los combustibles con mayor pureza sucede lo contrario, es decir, con esta pureza de metanol los combustibles mejoran en sus prestaciones viéndose reflejado en el desempeño del motor tal como se observa en el Gráfico 8-3.

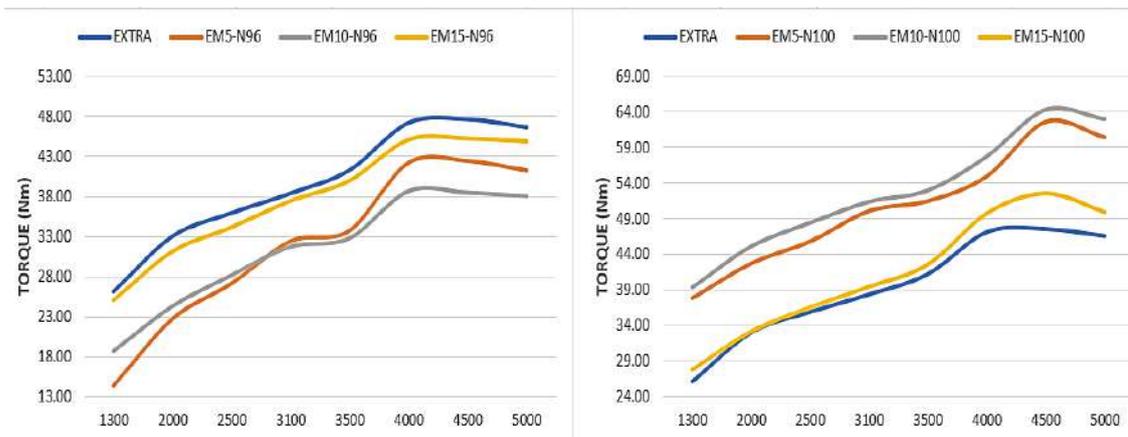


Gráfico 8-3: Curvas de Torque de los combustibles alternativos de base gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Los resultados con combustibles alternativos de base gasolina Super de 92 octanos permitió obtener las siguientes curvas de potencia. El Gráfico 9-3 muestra las curvas obtenidas con el

combustible de 92 octanos, donde en primer lugar tenemos a los resultados obtenidos con metanol al 96%, donde lo más destacable a mencionar es que con relación a lo obtenido con la gasolina Extra, en este apartado se ha logrado obtener incremento de potencia para todas las variantes de combustible, pero como se evidencia la diferencia entre combustibles es mínimo. Para el caso de combustibles con metanol al 100%, se aprecia que de igual manera se logra incremento de potencia para todas las variantes, pero con la particularidad que el incremento entre combustibles es mucho más notorio, como se ha podido notar las mejores prestaciones en los combustibles se da para aquellos combustibles que posee una concentración de metanol más pura.

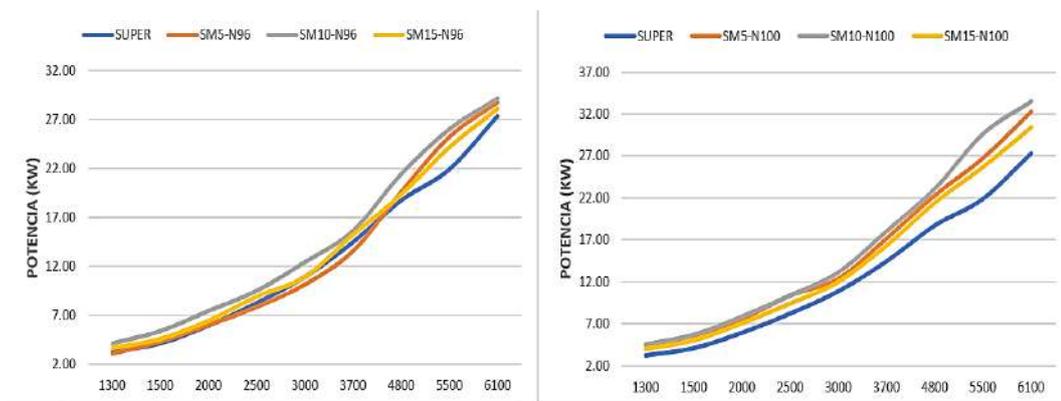


Gráfico 9-3: Curvas de Potencia de los combustibles alternativos de base gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las curvas de torque obtenidas para los combustibles de base gasolina Super son las que se muestran en el Gráfico 10-3, donde se observa que basándose en la curva estándar podemos analizar que solamente los combustibles alternativos con metanol con pureza de 96% solamente con el que posee 5% de fracción volumétrico se registró disminución de torque en el punto máximo que es el punto crítico para el análisis (4500 RPM) para los demás combustibles propuestos reflejan mejoría en el torque.

Los combustibles con pureza de metanol al 100% permiten evidenciar que, para todos los combustibles considerados para el análisis en este apartado, muestran que con todas estas variantes propuestas muestran incremento de torque tomando como referencia la marcada por la curva estándar (solamente con gasolina Super).

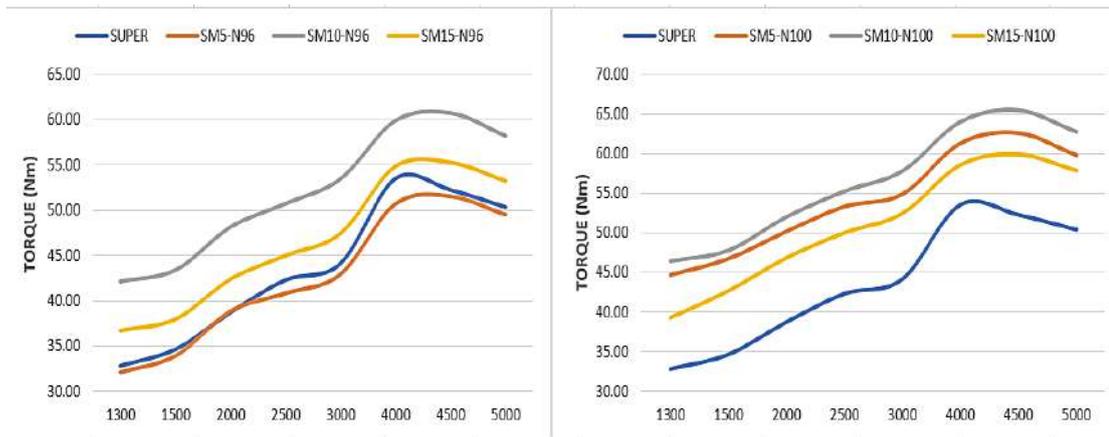


Gráfico 10-3: Curvas de Torque de los combustibles alternativos de base gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico implica establecer una designación de nomenclatura para las diferentes variantes de combustibles utilizados para el desarrollo del proceso experimental (fase de pruebas), en la Tabla 11-3 se indica la nomenclatura establecida para los diferentes combustibles. Lo importante a mencionar para el fácil entendimiento es, la letra (E) y (S) denotan el combustible base considerado, en concreto se trata de combustible extra y super respectivamente. La letra (M) acompañado con un número (5,10 o 15) expresa la cantidad volumétrica (% v/v) de metanol considerada para la mezcla y (N) indica la concentración porcentual de pureza del metanol.

El análisis estadístico presentará el comportamiento de las variables dependientes: Potencia (kW), Torque (Nm) y Emisiones (% , ppm), estas en función de la variación de la variable independiente (combustible alternativo).

Tabla 11-3: Designación de nomenclatura para las diferentes variantes de combustibles

Combustible Base	% de Metanol considerado	% de pureza del Metanol
(E) – (S)	M (5% – 10% – 15%)	N (96% – 100%)

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El objetivo de aplicar el método estadístico es poder analizar en base a un conjunto de datos recolectados para cada variable de estudio, establecer si existen diferencias numéricamente

hablando, para lo cual; enfocándose netamente en un punto en específico (punto crítico) para el análisis.

El diagrama de cajas y bigotes nos permite visualizar los resultados de una manera más clara en función de valores medios y poder apreciar que variantes de combustibles ofrecen mejoría en el desempeño del motor. Mientras que el estadístico empleado para el análisis es el LSD de Fisher, la finalidad de este estadístico es analizar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos para cada combustible, mismo que serán ordenados de mayor a menor y expresándolos en agrupaciones, donde lo esencial a indicar es que, si el apartado de agrupación asigna una misma letra para más de un factor (variante de combustible alternativo) indicaría que significativamente son iguales llegando a demostrar que no existen diferencias notables entre los combustibles, si el caso fuese en el que se les asigne una letra diferente indicaría que significativamente son diferentes. Es importante aclarar que este método estadístico tiene una confianza del 95%.

El punto de análisis se centra en los valores de Potencia en kilovatios (kW) en el punto máximo de la curva, dicho punto máximo se lo obtuvo alrededor de las 6100 RPM, donde se puede observar que con los combustibles que disponen metanol al 100% (N100) consiguen sobrepasar la potencia registrada con el combustible solamente EXTRA.

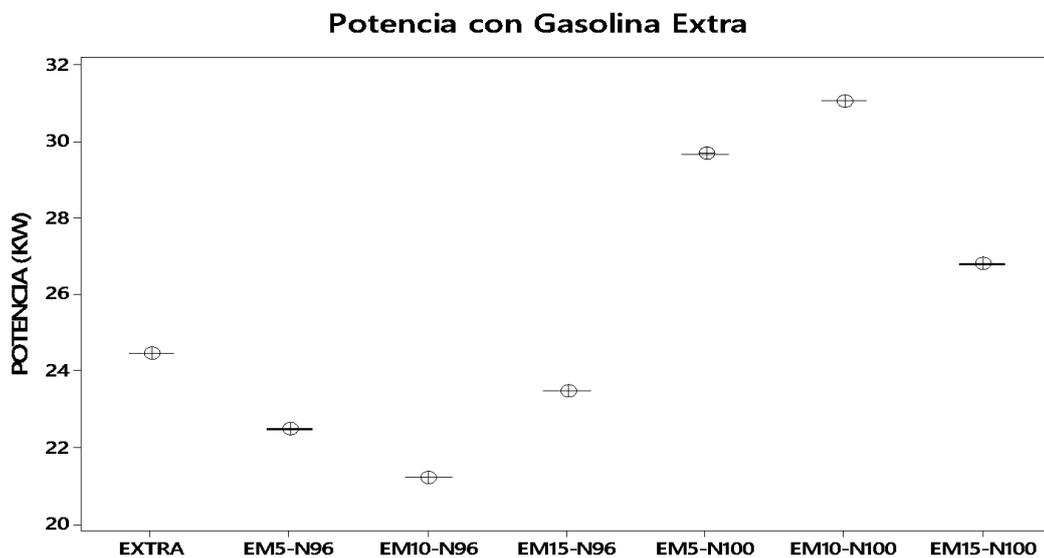


Gráfico 11-3: Diagrama de caja y bigote para la variable Potencia con gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Lo mencionado en el Gráfico 11-3 se lo corrobora con el estadístico LSD de Fisher donde se observa que el combustible que permite obtener la mayor ganancia de potencia es el EM10-N100 con un total de 31 kW con relación a lo obtenido con gasolina Extra que fue de 24 kW. Este estadístico nos muestra que son significativamente diferentes todos los valores medios de los combustibles alternativos tal como se evidencia en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3: LSD de Fisher para la variable potencia con gasolina extra

Factor	N	Media	Agrupación						
			A	B	C	D	E	F	G
EM10-N100	3	31,05	A						
EM5-N100	3	29,67		B					
EM15-N100	3	26,80			C				
EXTRA	3	24,47				D			
EM15-N96	3	23,48					E		
EM5-N96	3	22,49						F	
EM10-N96	3	21,22							G

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El torque cuantificado en Newton-metros (Nm), centrado el análisis en el punto máximo de la curva se registró alrededor de las 4500 RPM, donde los mejores resultados se evidencian que están reflejados con los combustibles que están compuestos con N100, donde se registró que efectivamente existe incremento en el torque, esto tomando como referencia a la cuantificación de torque obtenida solamente con la gasolina extra (Gráfico 12-3).

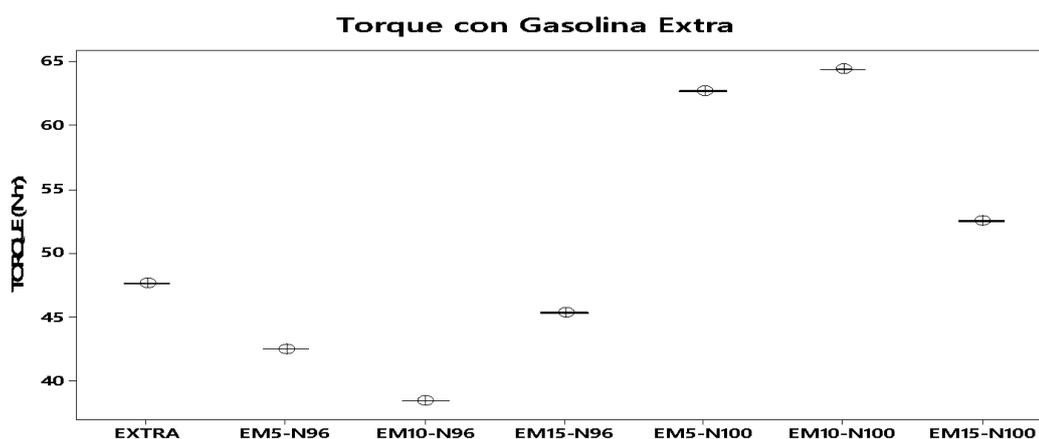


Gráfico 12-3: Diagrama de caja y bigote para la variable Torque con gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 13-3 muestra el estadístico LSD de Fisher, donde se observa que todos los combustibles que son objeto de análisis son significativamente diferentes entre ellos, pero realizando un análisis profundo se observa que con el combustible EM10-N100 se consiguen ganancias en la variable de estudio torque alcanzándose 64 Nm siendo un resultado destacable ya que con el combustible EXTRA se alcanza 47 Nm.

Tabla 13-3: LSD de Fisher para la variable torque con gasolina extra

Factor	N	Media	Agrupación							
			A	B	C	D	E	F	G	
EM10-N100	3	64,32	A							
EM5-N100	3	62,65		B						
EM15-N100	3	52,52			C					
EXTRA	3	47,63				D				
EM15-N96	3	45,32					E			
EM5-N96	3	42,50							F	
EM10-N96	3	38,50								G

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La potencia obtenida con gasolina Super es la que evidencia a continuación en el Gráfico 13-3, donde considerando la potencia máxima marcada en la curva perteneciente para cada combustible alrededor de las 6100 RPM permitió verificar que con los combustibles alternativos con metanol al 100% permiten que el desempeño del motor mejore reflejándose en el incremento de potencia.

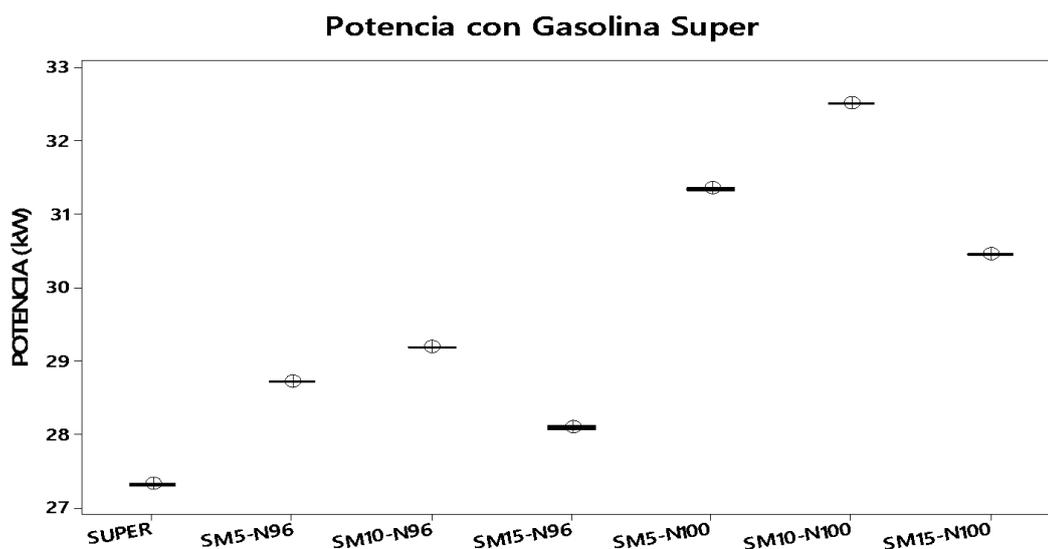


Gráfico 13-3: Diagrama de caja y bigote para la variable Potencia con gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El apartado estadístico permite deducir que no existe similitudes significativas entre combustibles tal como se muestra en la Tabla 14-3, donde se observa que con la gasolina Super se alcanzó una potencia de 27 kW, siendo el combustible SM10-N100 el que alcanza una mayor potencia de 32 kW.

Tabla 14-3: LSD de Fisher para la variable potencia con gasolina super

Factor	N	Media	Agrupación						
SM10-N100	3	32,51	A						
SM5-N100	3	31,34		B					
SM15-N100	3	30,44			C				
SM10-N96	3	29,18				D			
SM5-N96	3	28,72					E		
SM15-N96	3	28,10						F	
SUPER	3	27,32							G

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El torque obtenido en este apartado experimental permitio observar que los combustibles con 96% de metanol existe ganancia de torque con excepción del combustible SM5-N96, mismo que registro una minima disminución con respecto a la medida registrada con gasolina Super. El

criterio opuesto se observa con combustibles alternativos con 100% de pureza de metanol, consecuencia de aquello el mejor combustible para el analisis, en este caso es el SM10-N100.

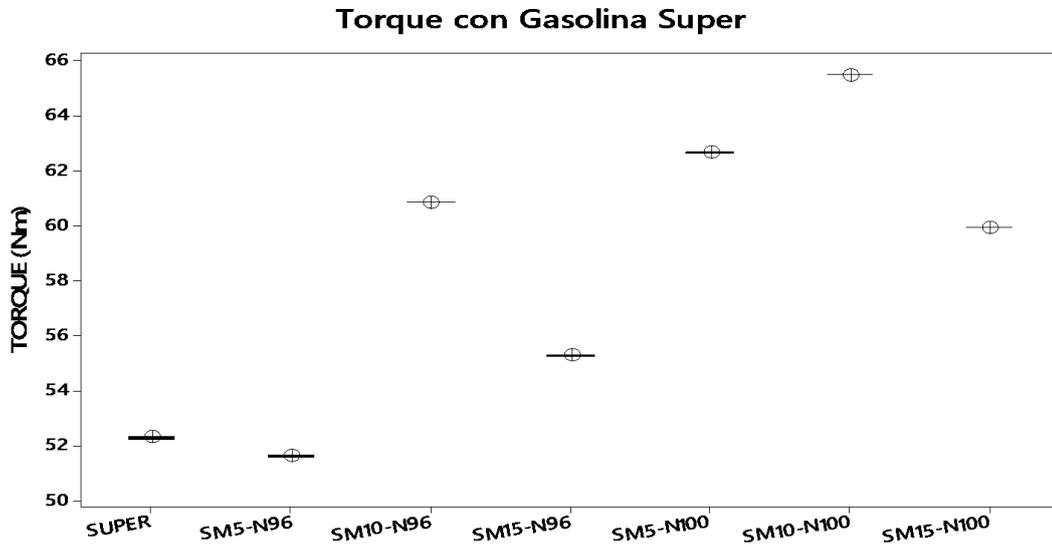


Gráfico 14-3: Diagrama de caja y bigote para la variable Torque con gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La situación es similar a lo analizado anteriormente, en relación con la presencia de diferencias significativas entre combustibles, donde si observamos la Tabla 15-3 con la gasolina Super se logró alcanzar 52 Nm de torque. El mejor resultado alcanzado de 65 Nm fue obtenido con el combustible SM10-N100.

Tabla 15-3: LSD de Fisher para la variable torque con gasolina super

Factor	N	Media	Agrupación						
SM10-N100	3	65,45	A						
SM5-N100	3	62,64		B					
SM10-N96	3	60,83			C				
SM15-N100	3	59,91				D			
SM15-N96	3	55,26					E		
SUPER	3	52,27						F	
SM5-N96	3	51,62							G

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) obtenidos con los combustibles conformados con gasolina Extra se observan en el Gráfico 15-3 basandose en el resultado registrado con el combustible Extra-Pura se evidencia que los combustibles con N100, con M5, M10 y M15 permiten obtener mayor concentración de CO₂, pero para obtener una mayor concentración de gas implica mayor consumo de combustible.

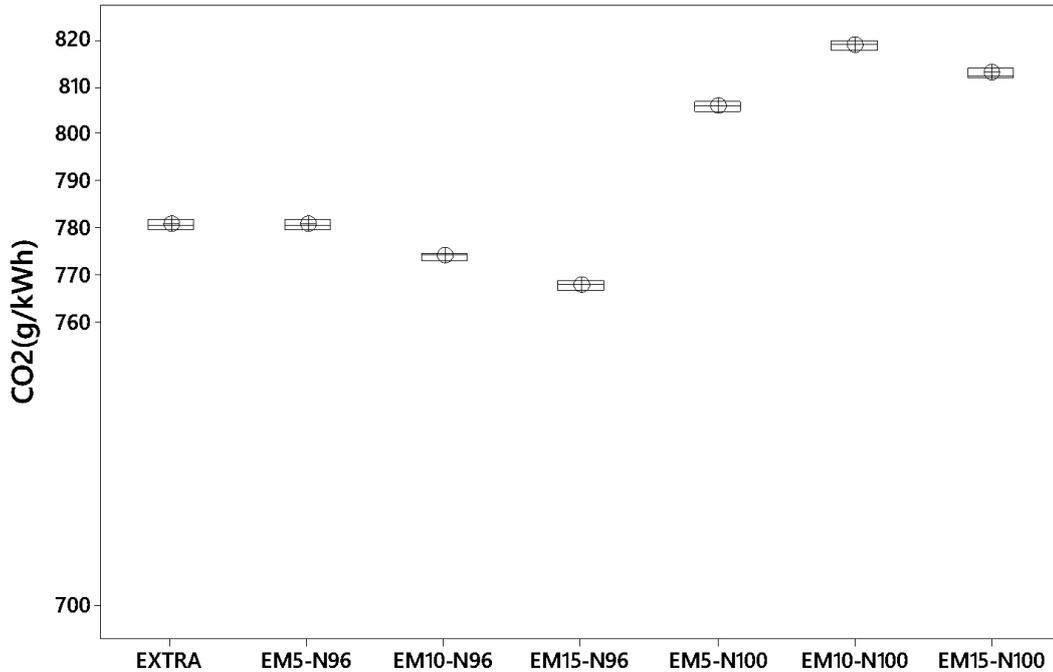


Gráfico 15-3: Diagrama de caja y bigote para el CO₂ con gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Mediante la aplicación del estadístico LSD de Fisher (Tabla 16-3) permite aclarar que con el combustible EM10-N100 se consiguen mayor consumo específico de CO₂, a su vez la mayor cantidad de consumo desemboca en mayor concentración de este gas ya que se alcanza 818 g/kW-h, referenciando con los 780 g/kW-h alcanzado con la gasolina EXTRA. Además, el estadístico permite observar que los valores medios de los combustibles Extra y EM5-N96 llegan a ser significativamente iguales.

Tabla 16-3: LSD de Fisher para CO₂ con gasolina extra

Factor	N	Media	Agrupación				
EM10-N100	3	818,97	A				
EM15-N100	3	812,86		B			

EM5-N100	3	806,07			C		
EM5-N96	3	780,94				D	
EXTRA	3	780,94				D	
EM10-N96	3	774,16					E
EM15-N96	3	768,04					F

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El caso puntual para combustibles alternativos de base gasolina Super permitio deducir que los combustibles con concentración mas pura de metanol (N100) permitieron mejorar la concentración de dióxido de carbono (CO₂), tal como se logra observar en el Grafico 16-3, implicando mayor consumo de combustible para lograr alcanzar esta condicion.

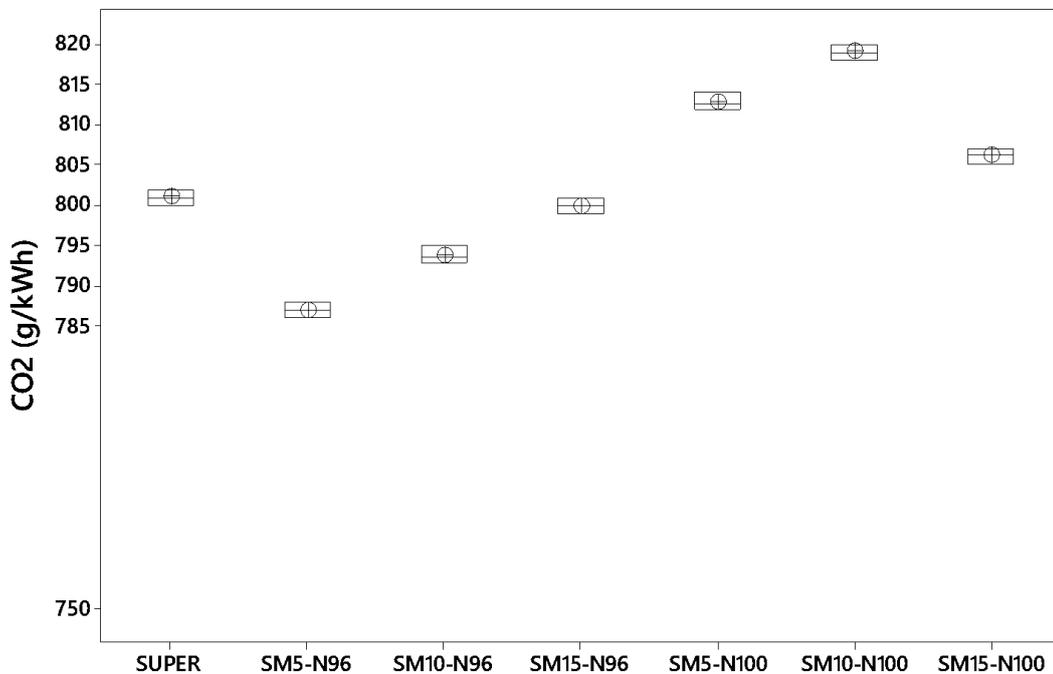


Gráfico 16-3: Diagrama de caja y bigote para el CO₂ con gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 17-3 muestra el resultado del estadístico aplicado para el gas CO₂ proveniente de combustibles de base gasolina Super, donde una mayor concentración de dióxido de carbono implica mayor consumo específico, en concreto, el combustible SM10-N100 alcanza 818 g/kW-h, ya que si se referencia con los 800 g/kW-h se nota claramente que existe incremento en el

consumo específico. Significativamente los valores medios de los combustibles SUPER y SM15-N96 llegan a ser iguales.

Tabla 17-3: LSD de Fisher para CO₂ con gasolina super

Factor	N	Media	Agrupación			
SM10-N100	3	818,97	A			
SM5-N100	3	812,86		B		
SM15-N100	3	806,07			C	
SUPER	3	800,96				D
SM15-N96	3	799,96				D
SM10-N96	3	793,84				E
SM5-N96	3	787,06				F

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las emisiones de gas resultante para el monóxido de carbono (CO) correspondiente para combustibles de base gasolina Extra permitieron obtener los siguientes resultados (Gráfico 17-3), para aquellos compuestos con metanol de concentración del 100% permitieron obtener menor consumo específico de CO (g/kW-h), especialmente con las variantes de combustible alternativo M10 y M15.

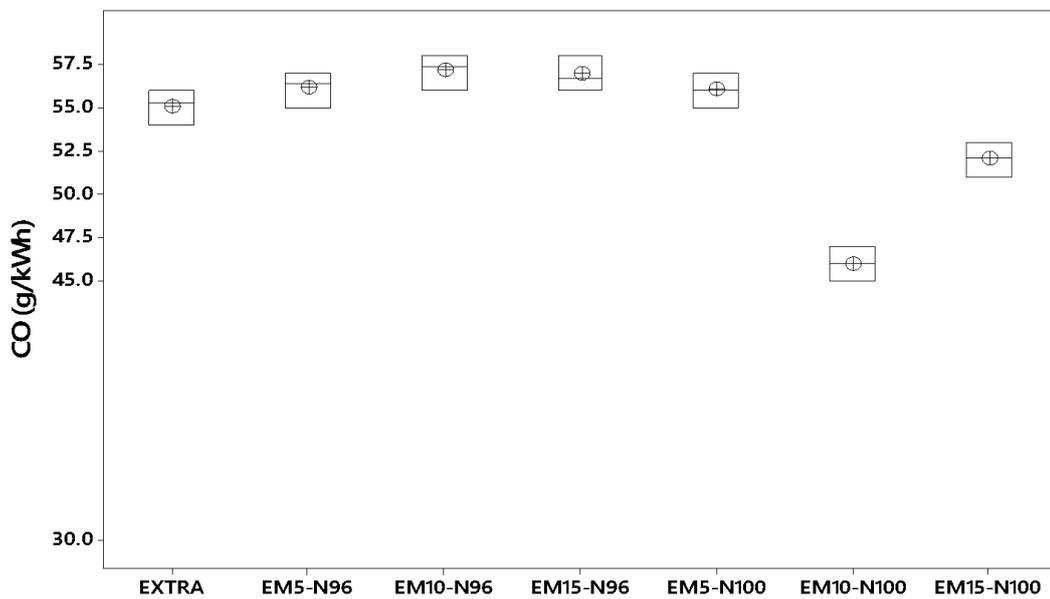


Gráfico 17-3: Diagrama de caja y bigote para el CO con gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La Tabla 18-3 nos permite observar que efectivamente los combustibles con metanol al 100% alcanzan una menor concentración de CO, mismos que significativamente llegan ser diferentes, con lo cual si se observa a detalle se puede decidir que el combustible EM10-N100 es el más idóneo para este apartado ya que el mismo es él consigue una menor concentración de gas, comparándolo con el registrado con gasolina Extra-Pura. Específicamente los combustibles EM10-N100 y EM15-N100 alcanzan 45 y 52 g/kW-h respectivamente.

Tabla 18-3: LSD de Fisher para CO con gasolina extra

Factor	N	Media	Agrupación			
EM10-N96	3	57,15	A			
EM15-N96	3	56,91	A			
EM5-N96	3	56,13	A	B		
EM5-N100	3	56,00	A	B		
EXTRA	3	55,10		B		
EM15-N100	3	52,02			C	
EM10-N100	3	45,99				D

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La concentración de monóxido de carbono (CO) para combustibles de base gasolina Super que se muestran en el Gráfico 18-3, donde analizando la disposición del Diagrama de cajas y bigotes, se evidencia que, debido a la disminución de la concentración de gas, implica que la demanda de combustible sea menor reflejándose una menor cantidad numérica en el consumo específico para los compuestos M5, M10 y M15 con metanol al 100% de pureza.

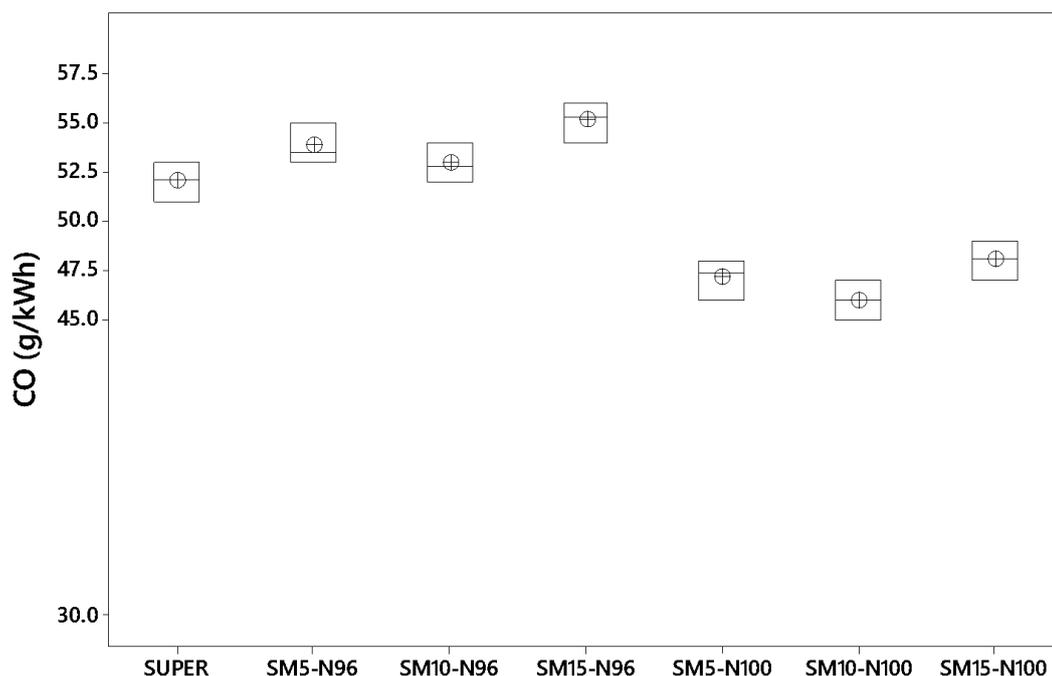


Gráfico 18-3: Diagrama de caja y bigote para el CO con gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El resultado estadístico obtenido para CO con gasolina Super permite evidenciar la siguiente particularidad; entre los combustibles Super-Pura y SM15-N96 existe la misma cantidad de gas ya que el estadístico establece que son significativamente iguales, corroborando que el combustible SM10-N100 permite disminuir la concentración de gas, siendo el mejor combustible en este parámetro medible. Esta variante de combustible alcanza 45 g/kW-h.

Tabla 19-3: LSD de Fisher para CO con gasolina super

Factor	N	Media	Agrupación			
SM15-N96	3	55,10	A			
SM5-N96	3	53,84	A	B		
SM10-N96	3	52,93		B	C	
SUPER	3	52,02			C	
SM15-N100	3	48,04				D
SM5-N100	3	47,13				D E
SM10-N100	3	45,99				E

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Las emisiones de hidrocarburos (HC) para los combustibles alternativos con gasolina Extra se muestran en el Gráfico 19-3. Basándose en la valoración registrada con gasolina Extra-Pura se realiza una comparación, evidenciando que existen similitudes entre los combustibles, ya que la consigna de este gas medible es que la concentración de HC vaya decayendo a medida que la velocidad del motor incremente, así que basándose en las mediciones registradas se deduce que el consumo específico para todas las variantes de combustible con N96 y N100 reportan valores cercanos entre combustibles.

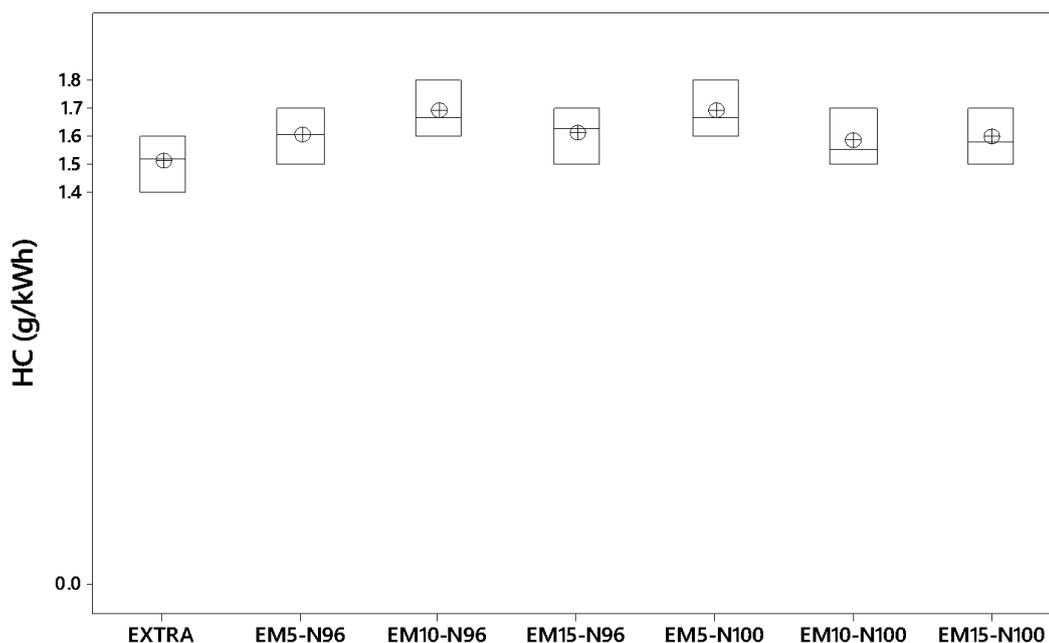


Gráfico 19-3: Diagrama de caja y bigote para HC con gasolina Extra

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

El análisis estadístico mostrado en la Tabla 20-3 permite corroborar lo anteriormente mencionado, respecto a que son significativamente iguales los valores medios de todas las variantes de combustibles alternativos ya que como se observa los valores de consumo específico son cercanos a 1.51 g/kW-h obtenido con gasolina EXTRA.

Tabla 20-3: LSD de Fisher para HC con gasolina extra

Factor	N	Media	Agrupación	
EM5-N100	3	1,69	A	
EM10-N96	3	1,69	A	
EM15-N96	3	1,61	A	B

EM5-N96	3	1,60	A	B
EM15-N100	3	1,59	A	B
EM10-N100	3	1,58	A	B
EXTRA	3	1,51		B

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

La repercusión de haber aplicado combustibles de base gasolina Super permitió recolectar los siguientes resultados mostrados en el Gráfico 20-3, donde se observa que el consumo específico reportado para todos los combustibles permite evidenciar la cercanía de los valores numéricos entre combustibles, demostrando que no existe una diferencia notoria entre los combustibles alternativos considerados para el análisis en este apartado.

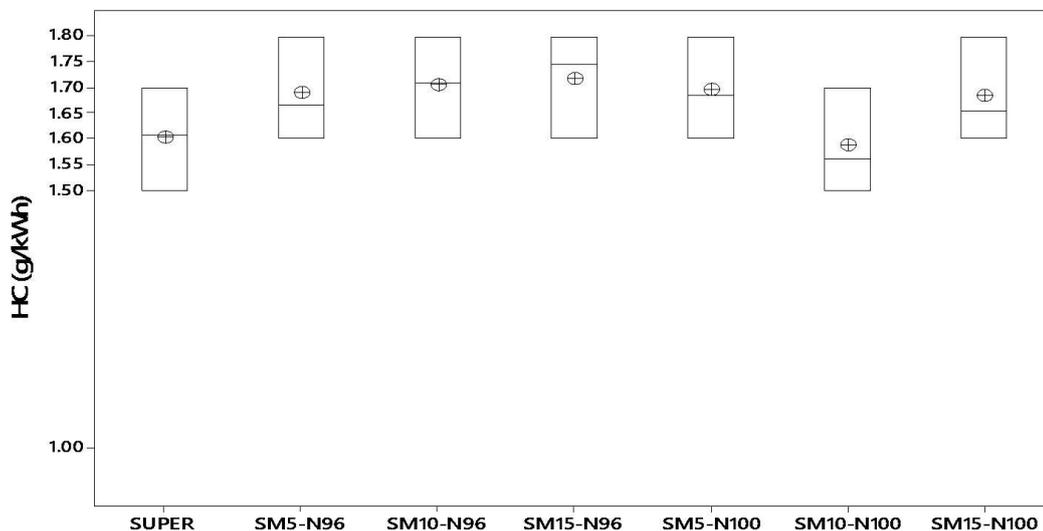


Gráfico 20-3: Diagrama de caja y bigote para HC con gasolina Super

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Con un análisis más profundo sustentándolo con el estadístico LSD de Fisher se puede definir lo siguiente: que los combustibles alternativos de base gasolina Super mezclado con metanol N96 y N100 permite evidenciar que el consumo específico para los combustibles propuestos llegan a ser significativamente iguales al consumo de HC registrado con la gasolina SUPER que fue de 1.60 g/kW-h, sin embargo solamente el combustible SM10-N100 llega a conseguir una menor concentración de HC con una disminución de consumo mínimo.

Tabla 21-3: LSD de Fisher para HC con gasolina super

Factor	N	Media	Agrupación
SM15-N96	3	1,71	A
SM10-N96	3	1,70	A
SM5-N100	3	1,69	A
SM5-N96	3	1,69	A
SM15-N100	3	1,69	A
SUPER	3	1,60	A
SM10-N100	3	1,59	A

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Después de la finalización del proceso experimental para el apartado de la obtención de las curvas de torque y potencia se logró analizar que los valores obtenidos en banco dinamométrico Borghi & Saveri FA 200, llegaban a diferir con los datos mostrados por el fabricante (Tabla 3-2). Por lo tanto, considerando que los valores expresados en fichas técnicas son pruebas que se las realizan a una altitud a nivel del mar y con el añadido de que el banco dinamométrico producto de su antigüedad ha ido perdiendo eficiencia en su funcionamiento producto de diversos cambios al cual ha estado sometido, estos factores se los pueden asociar para deducir la presencia de un margen de error.

Por lo tanto, se vio la necesidad de adquirir las curvas de torque y potencia en un vehículo que posea el mismo tipo de motor, es decir, que cumpla con las mismas características mecánicas expresadas en la Tabla 3-2, y sobre todo lo fundamental es que van a ser curvas obtenidas bajo las mismas condiciones de altitud (2754 m.s.n.m) a la cual se ejecutó todo el proceso experimental, dicha obtención de estas curvas se las consiguió por medio de un dinamómetro de rodillos.

Para facilitar el proceso de determinación de una fórmula de corrección que permita reducir el margen de error que existe entre el dinamómetro de motor y rodillos, radicó en fundamentalmente cotejar las curvas estándar obtenidas en el dinamómetro de motor con las obtenidas en el dinamómetro de rodillos tal como se muestra en el Gráfico 21-3, el cual nos permite observar que efectivamente existe una diferencia entre los equipos empleados para la medición.

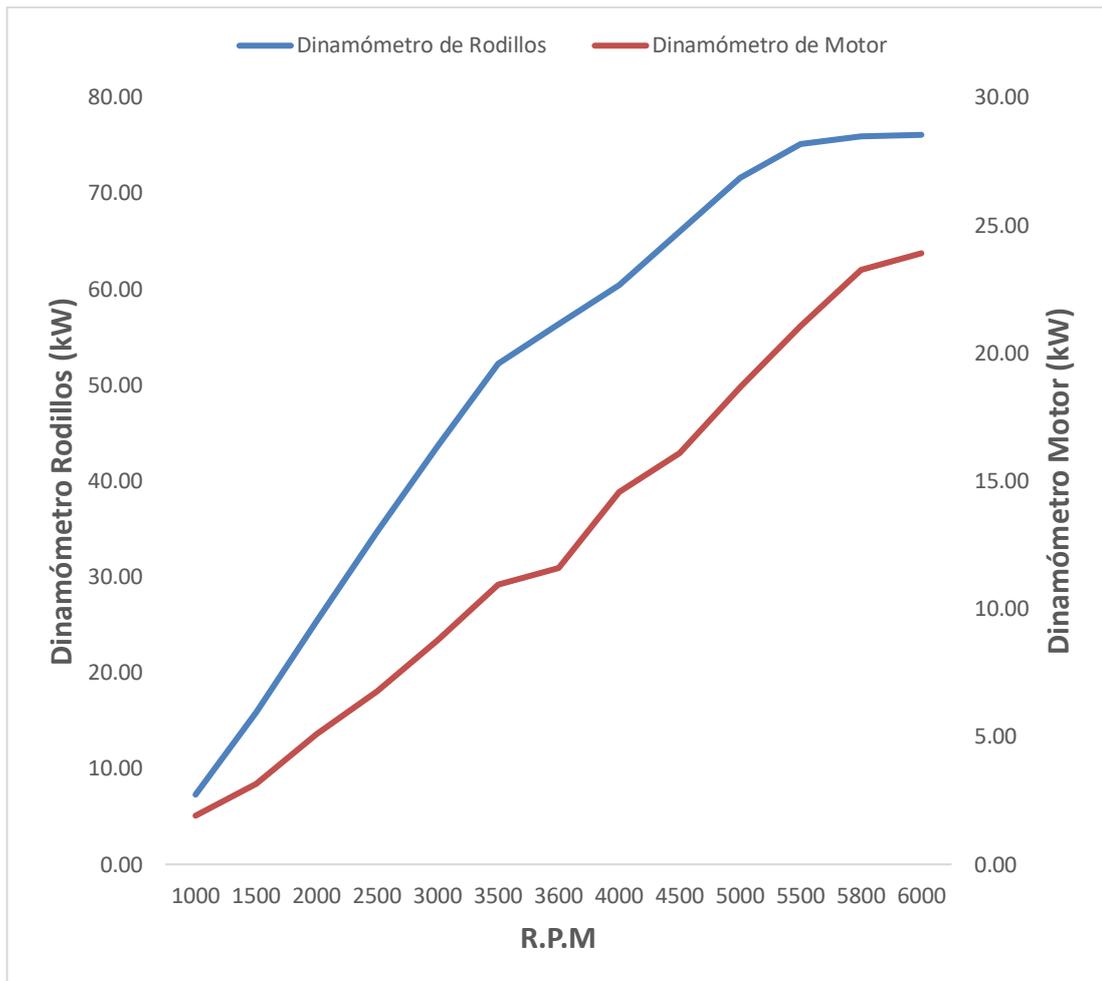


Gráfico 21-3: Comparación entre las curvas obtenidas en el dinamómetro de rodillos y motor

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Haciendo uso de un software que facilite la obtención de una fórmula de corrección, se procedió a realizar el análisis por medio de un diagrama de dispersión como se muestra en el Gráfico 22-3, para el caso de Potencia se aplicó una tendencia lineal, misma que se encuentra expresado en el Gráfico, donde se logra obtener un R^2 de 0.9284. La consigna de este condicionante es que, si el valor es cercano a 1, significa que existe un ajuste lineal perfecto.

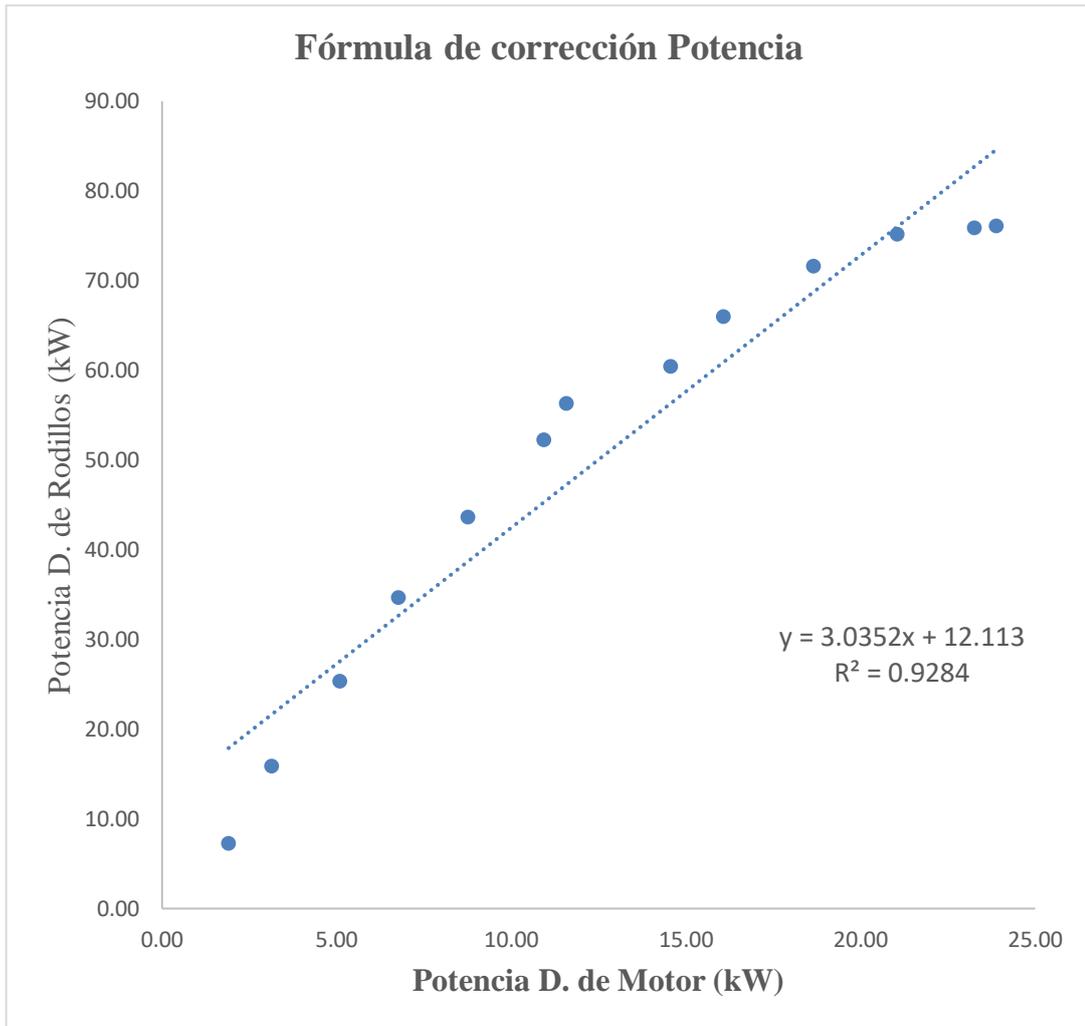


Gráfico 22-3: Deducción de fórmula de corrección para las curvas de Potencia

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Para el caso de curvas de Torque se aplicó el mismo método de análisis, por medio de un gráfico de dispersión, el cual se muestra en el Gráfico 23-3 la disposición fue ubicar los valores obtenidos en el dinamómetro de motor en el eje de las abscisas (x) y en el eje de las ordenas (y) los valores obtenidos en el dinamómetro de rodillo, para posteriormente emplear una línea de tendencia lineal, la cual se ajusta de tal manera que abarca la gran cantidad de datos existentes para el análisis. El valor de R^2 es de 0.6001 debido a que existen datos alejados de la línea de tendencia aplicada.

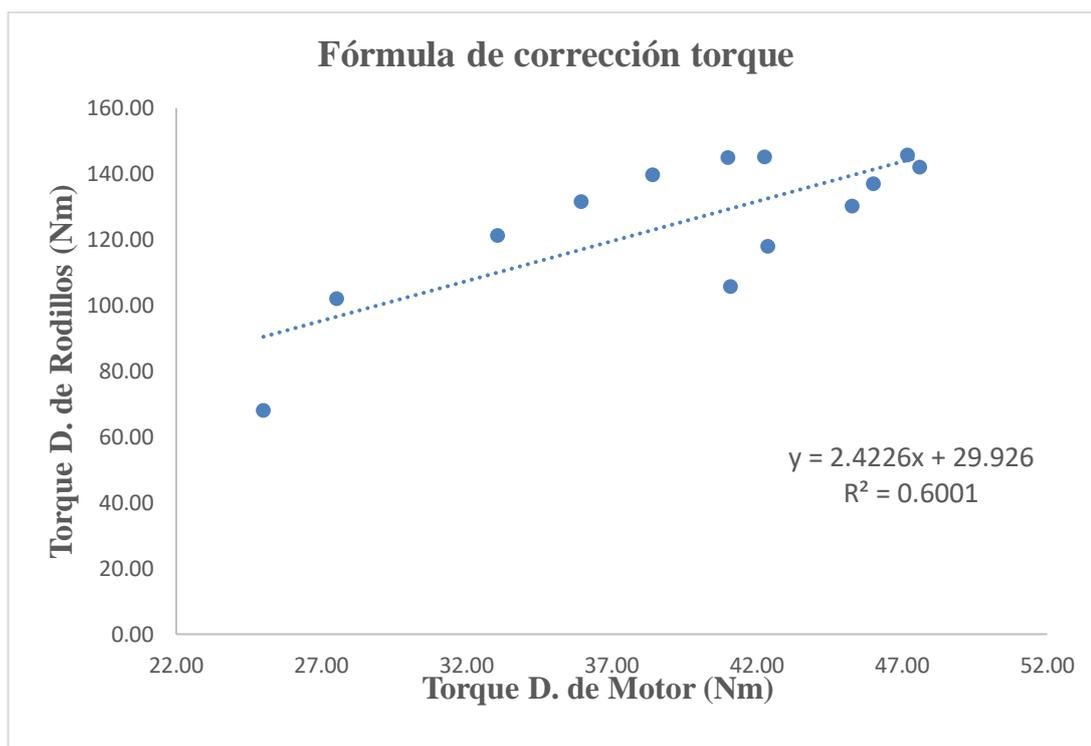


Gráfico 23-3: Deducción de fórmula de corrección para las curvas de Torque

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Debido al planteamiento de fórmulas de corrección para las curvas de torque y potencia, se muestra a continuación una tabla resumen que contendrá los valores de Torque y Potencia en sus puntos máximos para todas las variantes de combustibles obtenidos con gasolina Extra y Super (Tabla 22-3), donde se logró obtener los siguientes resultados.

Tabla 22-3: Variantes de combustible aplicadas la corrección en sus puntos máximos

	Potencia corr.	Torque corr.		Potencia corr.	Torque corr.
Extra	86,38	145,31	Super	95,03	156,56
EM5-N96	80,37	132,89	SM5-N96	99,28	154,98
EM10-N96	76,52	98,97	SM10-N96	100,68	177,29
EM15-N96	83,38	139,72	SM15-N96	97,40	163,80
EM5-N100	102,17	181,70	SM5-N100	107,24	181,68
EM10-N100	106,36	185,75	SM10-N100	110,79	188,49
EM15-N100	93,46	157,16	SM15-N100	104,50	175,06

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Manteniendo la deducción que el mejor compuesto que permite obtener incremento en el torque y potencia se centró el análisis en los resultados obtenidos en el compuesto M10-N100, donde para el caso para la gasolina extra aplicando la fórmula de corrección para la curva de potencia se obtuvo un valor de 86.38 kW ya con el compuesto M10 se alcanzó 106.36 kW reportando un incremento de 20 kW (Gráfico 24-3). Mientras que para el caso de potencia con gasolina Super se obtuvo un valor de 95.03 kW, pero con el compuestos M10 se alcanzó una potencia de 110.79 kW estableciendo que existe 15.76 kW de incremento para este caso. Para el apartado de las curvas de Torque mediante la aplicación de la fórmula de corrección se estableció que con gasolina Extra se alcanza un valor de 145.31 Nm, pero con el compuestos M10 se logra 185.75 Nm lográndose un notable incremento de 40.44 Nm. Mientras que para el combustible de base gasolina Super con fracción volumétrica M10 se registra un valor de 156.56, mientras que con el combustible estándar se reporta un valor de 188.49, concluyendo que hay un incremento de 31.93 Nm (Gráfico 24-3).

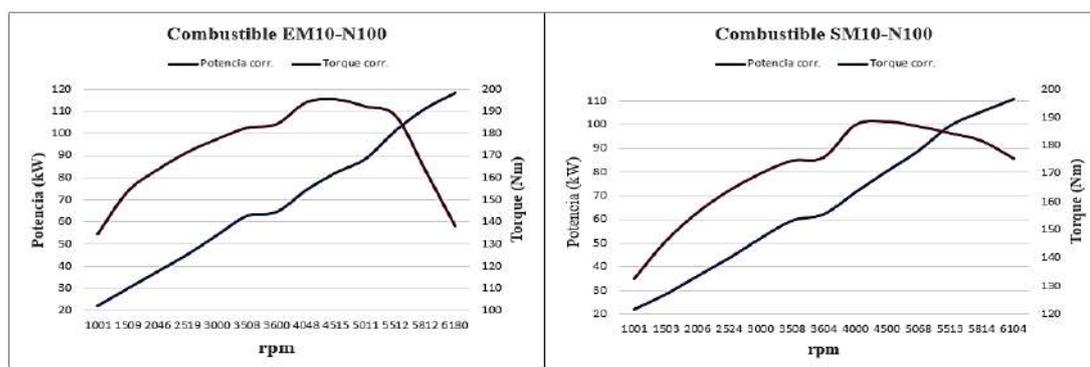


Gráfico 24-3: Compuesto de mejores resultados aplicado la fórmula de corrección

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Realizando una comparativa general de los datos emitidos por el fabricante y las curvas obtenidas en el dinamómetro de rodillos permite confirmar que la altitud incide de manera directa en la obtención de los valores de Torque y Potencia ya que llega a existir un 10% y 6% respectivamente de disminución en la obtención de los resultados. Ahora considerando las curvas de torque y potencia obtenidas en el banco dinamométrico Borghi & Saveri FA 200.

Tabla 23-3: Comparativa global de los resultados de torque y potencia máximos.

	Ficha Técnica	Dinamómetro de Rodillos	Dinamómetro de Motor	
			EM10-N100	SM10-N100
POTENCIA (kW)	85	76,09	106,36	110,79
TORQUE (Nm)	155	146	185,75	188,49

Fuente: (Collaguazo, J. 2021)

Realizado por: Collaguazo, J. 2021

Debido a los múltiples factores que inciden en las mediciones en el banco dinamométrico resulta difícil determinar con exactitud el margen de error que existe en la metodología de medición de este equipo, pero basándose en los resultados obtenidos en el dinamómetro de motor y tras haberlos comparado con los resultados obtenidos en el dinamómetro de rodillos se puede evidenciar que el error supera el 50%, muestra de aquello es lo que se evidencia en el Gráfico 21-3, donde se observa claramente la diferencia de los valores entre los dos equipos de medición mencionados.

3.6 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de las variables de estudio potencia, torque y emisiones, considerando el motor Chevrolet Aveo 1.6 L, para la obtención de estos, se focalizo en premisas planteadas bajo criterios de la metodología empírica y cuantitativa. Lo establecido por Varshney y Mishra (2016) se llega a refutar parcialmente, debido a que Varshney y Mishra establecen que una mezcla con alto porcentaje de metanol proporciona una mayor potencia al freno a velocidades altas, lo cual en base a los resultados obtenidos se evidencio que con mayor cantidad de metanol (M15) no se logra alcanzar mayor incremento en la potencia a comparación de lo que se obtuvo con los combustibles M10, mismos que permiten alcanzar la mayor potencia registrada entre los combustibles propuestos para el estudio experimental. Concordando con el criterio de Mishra (2016), que manifiesta que con combustibles mezclados se consigue mejoras en la potencia.

La potencia alcanzada con combustibles N100 y gasolina Extra permitieron deducir que para todas las variantes propuestas de M5, M10 y M15 existe incremento de potencia, pero con la particularidad de que a mayor presencia de metanol en el combustible se registra un leve incremento ya que con el combustible M15 se alcanza 8.3% de incremento en la potencia, mientras que con los combustibles M5 y M10 se alcanzó un incremento del 21% y 29% respectivamente. El caso de combustibles con gasolina Super con el aliciente de metanol N100 fueron los que mayores prestaciones en el desempeño del motor mostraron ya que, con el compuesto M15 se alcanzó un incremento de 11% de potencia, la variante M5 ofreció un incremento del 15% y con M10 se alcanzó a mejorar esta condición en 19%. Lo cual permite discrepar de Abu-Zaid y Yamin (2004) que enuncian que el aumento en la producción de potencia se alcanza cuando se usa una mezcla de combustible de metanol al 15%.

La cuantificación de la variable de estudio torque con concentración de metanol más pura N100, permitieron obtener los mejores resultados con los combustibles Extra y Super. En primera instancia los combustibles alternativos conformados con gasolina Extra permitieron establecer

que con la variante M10 se logró incrementar un 36% el torque, mientras que con combustibles con gasolina Super se alcanzó una ganancia del 25% bajo estas condiciones, se concuerda con lo establecido por Thangavelu (2016), que menciona que alcanzó un incremento del 3% a un régimen de giro estable para la obtención del torque máximo (4000 rpm).

Si bien es cierto la concentración de CO₂ para los combustibles conformados con gasolina extra y super, no se logró evidenciar una variante de combustible alternativa que denote una mejoría notable en la concentración de este gas, ya que, para el caso particular de la gasolina extra el compuesto M10 alcanzó un incremento en la concentración de 4.5%, mientras que para la gasolina super con los compuestos M10 y M15 se alcanzaron las mayores concentraciones con un incremento de 2.4% para ambos combustibles, teniendo en cuenta que estos combustibles están conformados con N100. Con lo cual esta aseveración concuerda con lo que menciona Mishra (2020), que concuerda mencionando que se observa que hay una leve mejoría con mezclas de combustible M10, mismo efecto es el que llega a mencionar Srihitha (2018).

Las emisiones de CO se redujeron aproximadamente un 37%, es lo que menciona Çelik (2011) y llegándose a corroborar con los estudios realizados por Tian (2020), mismo que manifiesta que las mezclas de alcohol y gasolina pueden reducir las emisiones de CO. El caso concreto obtenido en este trabajo investigativo permitió evidenciar que efectivamente para el CO se pudo establecer que para combustibles de compuestos más puros de metanol N100, permitió en primer lugar para los combustibles alternativos de base gasolina extra permitieron conseguir disminución en su concentración de 17% con el compuesto M10. Mientras que para los combustibles alternativos constituidos con gasolina Super permitió alcanzar una disminución en la concentración de este gas en un 4.4% con el combustible M10. Ratificando con la aseveración de Srihitha (2018) que menciona, que a medida que la cantidad de metanol va en aumento las emisiones de este gas disminuyen, exceptuando en el caso de los combustibles M15 que para este trabajo investigativo los resultados reflejaron que este combustible alternativo repercute negativamente en la emisión de gases.

La emisión de gases para el parámetro medible de HC permitió evidenciar que los compuestos M10 y M15 para el apartado de combustibles alternativos de base gasolina Extra alcanzaron un descenso en la concentración de 5.2% y 1.6% respectivamente. Para aquellos combustibles de base gasolina Super la concentración de hidrocarburos evidencio que con el compuesto M10 se alcanza una disminución en la concentración de este gas en un 4.1%, esto con metanol N100. Bajo esta consigna el dominante común para estos dos tipos de gasolina es el compuesto M10, concordando con los resultados obtenidos por Srihitha (2018) que establece que los HC disminuyeron con el aumento de la concentración de metanol en la gasolina en todas las cargas.

Y solamente llegando a refutar en este apartado con lo que estableció Tian (2020) que obtuvo una aseveración opuesta, es decir, ya que asegura que en la mayoría de las condiciones operativas las emisiones de HC aumentan.

CONCLUSIONES

- La implementación de la computadora programable de motor permitió realizar una programación basándose en parámetros admisibles por la computadora *MS-II* dichos parámetros fueron de carga de combustible, avance de encendido y relación aire/combustible para que el combustible alternativo no incida en un funcionamiento erróneo del motor Chevrolet Aveo 1.6L, la aplicación de conocimiento en inyección electrónica permitió tener criterio acertado al momento de programar parámetros elementales para el funcionamiento del motor, debido a que una programación errónea podría desembocar en daños al motor.
- La realización de pruebas físico químicas en el laboratorio permitió conocer a través de ensayos de laboratorio y normativas estandarizadas, evidenciar la incidencia del metanol en la gasolina, ya que en las pruebas físicas de densidad y viscosidad se logró demostrar que al añadir metanol en la gasolina las propiedades de los combustibles alternativos se apegan a lo establecido en normativas técnicas de combustibles derivados del petróleo, para el caso de pruebas químicas de destilación fraccionada y punto de inflamación se apreció que el metanol químicamente incide de manera térmica en la disminución de la temperatura de inflamación y destilación, proporcional al incremento de metanol en el combustible. Además, con la ejecución del ensayo de lámina de cobre permitió verificar que el metanol en los combustibles no ocasiona corrosión agresiva en los metales.
- Las pruebas de emisión de gases considerando diferentes proporciones de metanol M5, M10 y M15, permitieron comprobar lo establecido en fuentes bibliográficas aseverando que las emisiones dependerán fundamentalmente de la composición química del combustible permitieron deducir que al añadir metanol en la gasolina permite obtener una combustión más limpia, llegando a ser más evidente esta condición con metanol N100, a pesar de eso, fundamentándose en los resultados mostrados permiten establecer que no se obtuvo un combustible alternativo que permita obtener una combinación idónea para el mejoramiento en los parámetros medibles de CO₂, CO y HC, por lo cual para el caso de CO₂ se alcanzó incrementar de gas en 4.9% y 2.4% en combustibles de base gasolina Extra y Super respectivamente con fracción volumétrica M10 especialmente a partir de las 3000 RPM. El CO también presento mejoría al lograr disminuir la concentración de este gas en un 17% y 12% para combustibles M10 con Extra y Super respectivamente a medida que la velocidad del motor aumento. El caso particular de emisión de HC mediante el aplicativo del método estadístico permitió establecer que con ninguna variante de combustible propuesta se logró

disminuir la concentración de este gas, basándose en las mediciones realizadas los valores medios llegan a ser significativamente iguales.

- La obtención de curvas de Torque y Potencia en el banco dinamométrico Borghi & Saveri FA-200/30 SPV permitió deducir que la concentración de pureza de metanol fue determinante para obtener mejoría en el desempeño del motor, ya que el metanol con 100% de pureza en su composición no posee un remanente de partículas de agua, debido a que tomando como referencia la literatura bibliográfica se menciona que el contenido de agua en la mezcla de combustible incide en pérdida de potencia. Los combustibles implementados en el motor 1600 cc que permitieron incremento de potencia fueron los combustibles con fracción volumétrica M10, para el caso puntual con gasolina Extra se registró un incremento del 26%, mientras que para el caso de mezcla con gasolina Super se obtuvo un incremento de potencia del 19%. Para las curvas de Torque considerándose el mismo condicionante de porción M10 de metanol permitió registrar incremento de 35% con gasolina Extra y con gasolina Super se logró obtener un incremento 25% en el Torque.
- La determinación de fórmulas de corrección y aplicándolas en las curvas de Torque y Potencia obtenidas del banco dinamométrico de motor para todas las variantes de combustibles alternativos propuestos, permitió corroborar que los compuestos con metanol M100 son los que alcanzan los mejores resultados, ya que al referenciarse con las curvas obtenidas en el dinamómetro de rodillos se logró evidenciar que a bajas velocidades de giro del motor se alcanzan valores similares a los registrados con el dinamómetro de rodillos, pero la diferencia más destacable se observó en altas velocidades, donde los valores medidos sobrepasan mayoritariamente a los valores de la curva estándar.

RECOMENDACIONES

- Mantener un constante mantenimiento en el dinamómetro Borghi & Saveri FA-200 con el fin de mitigar daños que a corto plazo incidan en la detención del banco dinamómetro y descalibración de la tarjeta electrónica que procesa los datos, ya que si uno de los sensores esenciales para la obtención de las curvas de torque y potencia, llegasen a emitir una señal errónea ocasionaría fallos en la medición.
- Considerar a más de los ensayos de laboratorio expuestos en este trabajo de titulación efectuar los ensayos de poder calorífico y octanaje para poder conocer si la implementación de metanol en la gasolina Super y Extra mejora las prestaciones de estas, debido a que estas propiedades mencionadas son de mucho interés para la funcionalidad de un MCI SI, y llegan a ser ensayos fundamentales en los combustibles derivados del petróleo.
- Para la obtención de las curvas de Torque y Potencia se amplie el campo de estudio experimental, es decir, realizar pruebas en otros motores de diferente cilindraje al ya expuesto en este trabajo de titulación, con el aliciente de que se apliquen pruebas dinámicas en ruta, es decir, considerando un ciclo de conducción en la ciudad, además obtener las curvas de torque y potencia en un dinamómetro de rodillos con el fin de optimizar el tiempo y recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABU-ZAID, M. et al.** “Effect of methanol addition on the performance of spark ignition engines”. *Energy and Fuels* [en línea], 2004, (Jordania) 18(2), pp. 312-315. [Consulta: 12 junio 2021]. ISSN 08870624. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef030103d>
- ACELERANDO.** *La calidad de los combustibles del Ecuador no supera la norma Euro 2* [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2021]. Disponible en: <https://acelerando.com.ec/calidad-de-los-combustibles-del-ecuador-no-superan-la-norma-euro-2/>
- BALDEÓN MENDOZA, D.C.** *ECUADOR: PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL* [en línea]. [Consulta: 11 noviembre 2021] Disponible en: <https://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/ecuador-produccion-de-gas-natural>
- BASILE, A.; & DALENA, F.** *Methanol: Science and Engineering* [en línea]. Primera Edición. India: Carly Demetre, 2017. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books-and-journals%0A>.
- BERNAL TORRES, C.** *Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades* [en línea]. S.l.: s.n., 2006. [Consulta: 27 junio 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=h4X_eFai59oC&pg=PA56&dq=metodo+deductivo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjinsa_0rbxAhUQRDABHfryAAAQ6AEwAnoECAgQAq#v=onepage&q=metodo deductivo&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=h4X_eFai59oC&pg=PA56&dq=metodo+deductivo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjinsa_0rbxAhUQRDABHfryAAAQ6AEwAnoECAgQAq#v=onepage&q=metodo%20deductivo&f=false).
- BORETTI, A.** “Renewable hydrogen to recycle CO2 to methanol”. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea], 2013, (Australia) 38(4), pp. 1806-1812. [Consulta: 2 junio 2021]. ISSN 03603199. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319912025864>.
- BOWLING, B.A., & GRIPPO, A.C.** *Simple engine fuel controller* [en línea]. [Consulta: 9 julio 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US7313474B2/en?q=bowling+y+grippo&oq=+bowling>

+y+grippo

CATAÑEDA, E. *Fórmula de viscosidad*. [en línea]. [Consulta: 21 junio 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/346011682>

CEGARRA SÁNCHEZ, J. *Los métodos de investigación* [en línea]. Primera Edición. Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 2012. [Consulta: 26 junio 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=YROO_q6-wzgC&printsec=frontcover&dq=metodo+hipotetico+deductivo&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

ÇELIK, M. et al. “The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine”. *Fuel* [en línea], 2011, (Turquía) 90(4), pp. 1591-1598. ISSN 00162361. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110005752#!>

DIARIO LA HORA. *Investigan origen de gasolina de mala calidad* [en línea]. [Consulta: 2 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/noticias/investigan-origen-de-gasolina-de-mala-calidad/>

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. *Método Hipotético-Deductivo* [en línea]. [Consulta: 11 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/hypothetico-deductive-method>

FREIRE TORRES, Edison David, & FIALLOS CUADRADO, Diego Belizario. Rehabilitación y Repotenciación del motor de un vehículo Land Rover de 1986 para taller móvil de la Escuela de Ingeniería Automotriz (Trabajo de Titulación) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2015. pp 63-65 [Consulta: 10 julio 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/146214591-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo-facultad-de-mecanica-escuela-de-ingenieria-automotriz.html>

GOHIL, Bhavdipsinh et al. “Performance Evaluation of Methanol Blend Fuel in SI Engine”. *International Journal of Science and Research (IJSR)* [en línea], 2016, (India) 5(4), pp.

396-399. [Consulta: 26 mayo 2021]. ISSN 23197064. Disponible en: <https://www.ijsr.net/archive/v5i4/NOV162561.pdf>

HOLMGREN, K. et al. “System aspects of biomass gasification with methanol synthesis - Process concepts and energy analysis”. *Energy* [en línea], 2012, (Suecia) 45(1), pp. 817-828. [Consulta: 12 junio 2021]. ISSN 03605442. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544212005397>

LEIVA BAUTISTA, C. “La utilización del metanol como biocombustible”. *Realidad y Reflexión* [en línea], 2011, (El Salvador) 1(1), pp. 23-25. ISSN 1992-6510. Disponible en: <http://redicces.org.sv/jspui/handle/10972/3231>

LI, Zhaohui et al. “Critical firing and misfiring boundary in a spark ignition methanol engine during cold start based on single cycle fuel injection”. *Energy* [en línea], 2015, (China) 89, pp. 236-243. [Consulta: 12 junio 2021]. ISSN 03605442. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215009664>

LLINÁS SOLANO, H.; & ROJAS ÁLVAREZ, C. *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad* [en línea]. Primera Edición. Barranquilla-Colombia: Ediciones Uninorte, 2015. [Consulta: 9 julio 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=43haDwAAQBAJ&dq=diagrama+de+caja+y+bigote&source=gbs_navlinks_s.

MARTÍNEZ RUÍZ, H. *Metodología de la Investigación* [en línea]. S.l. México: Cengage Learning, 2018. [Consulta: 11 julio 2021]. ISBN 9786074817669, 9786074817218. Disponible en: <https://sd0bc5f099b0aa845.jimcontent.com/download/version/1494904262/module/10258608883/name/LIBROOO%20investigacion%20cientifica.pdf>.

MEGASQUIRT. *MegaSquirt(R) FAQ Main Page* [en línea]. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm#whatis>

METHANOL INSTITUTE. *El uso del Metanol en la gasolina* [en línea]. Primera Edición. United State: 2015. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/257699864/El-Uso->

Del-Metanol-en-La-Gasolina.

MISHRA, P. et al. “Methanol and petrol blended alternate fuel for future sustainable engine: A performance and emission analysis”. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* [en línea], 2020, (India) 155, pp. 2-10. [Consulta: 20 mayo 2021]. ISSN 02632241. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224120300567>

MISHRA, P. et al. “Effect of perforation on exhaust performance of a turbo pipe type muffler using methanol and gasoline blended fuel: A step to NOx control”. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2018, (India) 183, pp. 3-5. [Consulta: 26 mayo 2021]. ISSN 09596526. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618305663>

MISHRA, P. et al. “Modeling for combined effect of muffler geometry modification and blended fuel use on exhaust performance of a four stroke engine: A computational fluid dynamics approach”. *Applied Thermal Engineering* [en línea], 2016 (India) 108, pp. 4-9. [Consulta: 20 mayo 2021]. ISSN 13594311. Disponible en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431116313552>

NAVAS ESCUDERO, Luis Eduardo & SÁNCHEZ VILLAROEEL, Álvaro Xavier. Implementación y optimización de un sistema de inyección electrónica programable para el motor del vehículo Fórmula SAE de la carrera de ingeniería Automotriz-ESPOCH (Trabajo de Titulación) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 38-45 [Consulta: 9 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5858>

NEILL, D.; & CORTEZ SUÁREZ, L. *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica* [en línea]. Primera Edición. Machala-Ecuador: UTMACH, 2018 [Consulta: 26 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>

INEN 1493. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN DE COPA CERRADA PENSKY MARTENS.*

INEN 2204. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. GESTIÓN AMBIENTAL AIRE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA.* Primera Edición.

INEN 2903. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN PETRÓLEO Y PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD API. MÉTODO DEL HIDÓMETRO.*

INEN 810. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN PRODUCTOS DE PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA Y DINÁMICA EN LÍQUIDOS TRANSPARENTES Y OPACOS.*

INEN 926. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN PRODUCTOS DE PETRÓLEO. ENSAYO DE DESTILACIÓN.*

INEN 927. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN PRODUCTOS DE PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DE LA CORROSIÓN DE LA LÁMINA DE COBRE.*

PILUSA, J. et al. “Reduction of vehicle exhaust emissions from diesel engines using the whale concept filter”. *Aerosol and Air Quality Research* [en línea], 2012 (Sudáfrica) 12(5), pp. 994-1006. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 16808584. DOI 10.4209/aaqr.2012.04.0100. Disponible en: <https://aaqr.org/articles/aaqr-12-04-0a-0100>

RODRÍGUEZ MOGUEL, E. *Metodología de la Investigación* [en línea]. Quinta Edición. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2005. [Consulta: 26 junio 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=r4yrEW9Jhe0C&pg=PA30&dq=metodo+deductivo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj0ionq0rbxAhX2RjABHVFfCX4Q6AEwCHoECAgQAg#v=onepage&q=metodo deductivo&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=r4yrEW9Jhe0C&pg=PA30&dq=metodo+deductivo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj0ionq0rbxAhX2RjABHVFfCX4Q6AEwCHoECAgQAg#v=onepage&q=metodo%20deductivo&f=false).

SÁNCHEZ MARTÍNEZ, M. *La evaluación de los programas intergeneracionales* [en línea]. Primera edición, Granada-España: IMSERSO, 2007. [Consulta: 27 junio 2021].

Disponibile en:
https://books.google.com.ec/books?id=zLIZST8nOn0C&pg=PA51&dq=metodologia+cuantitativa&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi7_trFjbjxAhVbSjABHXVYAoAQ6AEwBXoEC_AQQA#v=onepage&q=metodologia+cuantitativa&f=true

SRIHITHA, K. et al. “Experimental Investigation of SI Engine Characteristics with Methanol Blended Petrol”. *International Journal of Research in Advent Technology* [en línea], 2018, (India) 6(9), pp. 2372-2378. [Consulta: 27 mayo 2021]. ISSN 2321-9637. Disponible en: www.ijrat.org

THANGAVELU, S. et al. “Performance of Petrol Engine Using Gasoline-Ethanol-Methanol (GEM) Ternary Mixture as Alternative Fuel”. *Applied Mechanics and Materials* [en línea], 2016, (Malasia) 833, pp. 41-48. [Consulta: 13 mayo 2021]. ISSN 1662-7482. Disponible en: <https://www.scientific.net/AMM.833.41>

TIAN, Zhi et al. “Comparative study on combustion and emission characteristics of methanol, ethanol and butanol fuel in TISI engine”. *Fuel* [en línea], 2020, (China) 259, pp. 5-11. [Consulta: 7 junio 2021]. ISSN 00162361. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119315534?via%3Dihub>

VANCOILLIE, J. et al. “The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines”. *Applied Energy* [en línea], 2013 (Bélgica) 102, pp. 140-149. [Consulta: 26 mayo 2021]. ISSN 03062619. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261912004692>

VARGAS SABADÍAS, A. *Estadística descriptiva e inferencial* [en línea]. Primera Edición. Ciudad Real-España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 1995. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=RbaC-wPWqjsC&dq=lsd+de+fisher&source=gbs_navlinks_s

VARSHNEY, N.; & MISHRA, D. “Study of Performance, Exhaust analysis & Future scope of Petrol Engine Using Methanol Blends”. *International Research Journal of Engineering and Technology* [en línea], 2016, (India) 3, pp. 255-260. [Consulta: 26 mayo 2021] ISSN

2395-0072. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V3/i11/IRJET-V3I1143.pdf>

VÁSQUEZ LÓPEZ, A.E. Implementación de un sistema electrónico programable para controlar el avance de encendido e inyección de combustible en un vehículo de competición (Trabajo de Titulación) [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 30-31 [Consulta: 9 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4038>

WALUYO, B. et al. “Fuel performance for stable homogeneous gasoline-methanol-ethanol blends”. *Fuel* [en línea], 2021, (Indonesia) 294, pp. 2-6. [Consulta: 9 junio 2021]. ISSN 00162361. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236121004415>

WINTERBONE, D.; & TURAN, A. 2015. *Advanced Thermodynamics for Engineers* [en línea]. Segunda Edición. S.l.: s.n., 2015. [Consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpATEE0004/viewerType:toc//root_slug:advanced-thermodynamics/url_slug:advanced-thermodynamics-for-engineers-2nd-edition?b-q=otto engine performance&include_synonyms=no](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpATEE0004/viewerType:toc//root_slug:advanced-thermodynamics/url_slug:advanced-thermodynamics-for-engineers-2nd-edition?b-q=otto%20engine%20performance&include_synonyms=no).

ANEXOS

Scope of Application
The flash-point determination of petroleum products is using:

Method A:
for distillate fuels (diesel, kerosene, heating oil, turbine fuels), new lubricating oils, paints, varnishes and other homogeneous liquids.

Method B:
for high viscous materials, residual fuel oils, cutback residual, used lubricating oils, non-homogeneous materials like mixtures of petroleum liquids & solids, surface-film building petroleum liquids or liquids with a viscosity above 5.5 cSt at +40°C.

Used in shipping & safety regulations to define flammable and combustible materials.

Summary of Method
A brass test cup is filled to the inside mark with test specimen, fitted with a cover and heated, while the specimen is stirred at specified rates. An ignition source is directed into the test cup at regular intervals with simultaneous interruption of the stirring, until a flash is detected.

The **FLASH-POINT** is the lowest temperature at which the application of an ignition source causes the specimen vapors to ignite.

Technical Data

Temperature Range:
approx. +40 to +360 °C

Programs: --

Ignition Type: (included)
gas & electric

Stirring Speed: (selectable)
120 or 250 rpm

Sensing System:
differential-thermocouple

Barometric Pressure Sensor: --

Safety:
overheat protection
automatic shut-off

Hardware Clock: --

Interface: --

Gas Connection:
for propane/butane or natural gas (max. 0.05 bar)

Display: --

Dimensions:
Width: 230 mm
Depth: 470 mm
Height: 460 mm
Weight: 10 kg

Power Consumption:
approx. 850 Watts

Power Supply:
230 or 115 V, 50/60 Hz

User Groups:
Biodiesel, Bitumen, Engine Oil, Fuel, Jet Fuel, Lubo Oil, Mastics, Paint, Power Plant, Regulatory Authorities, Solvent, Turbine Fuel, Turbine Oil, Varnish

Flash-Point Testing with Closed Cup acc. Pensky-Martens

- PM 4 (semi-automatic)

Pensky-Martens Method:
ASTM D 93-A&B - JIS K2265-3
AASHTO T73-A&B - AASHTO T172-A&B
FTM 791-1102 - FTM 141-4293
IP 34-A&B (BS 2839)
ISO 2719-A&B
(EN 22 719, DIN 51 758, NF M07-019)

Diesel Fuel Blend Stock Option (Biodiesel):
ASTM D 6751

Limit Test (saturable oils & fats):
ISO 15 267 - BS 684-1.17

Temperature Range:
approx. +40°C ... +360°C




with electric-relighting gas-ignition with electric-ignition

Main Unit

PM 4 - Semi-Automatic Flash-Point Tester, Pensky-Martens Method

Pensky-Martens Method: **ASTM D 93-A&B - JIS K2265-3**
AASHTO T73-A&B - AASHTO T172-A&B
FTM 791-1102 - FTM 141-4293
IP 34-A&B (BS 2839)
ISO 2719-A&B (EN 22719, DIN 51 758, NF M07-019)

Biodiesel Method: **ASTM D 6751**
Limit Test (saturable oils & fats): **ISO 15 267 - BS 684-1.17**

Features:
 - easy to manipulate
 - automatic overheat protection
 - gas and electric igniter

Consisting of:
 stainless steel housing with two-color powder coating, swivel-mounted head, automatic overheat protection, electric heating, electronic heater control, electric stirrer 120 rpm (method A) and 250 rpm (method B), stirrer shut-off manually by switch or automatically during dipping of igniter, re-cooling fan

Supplied with:
 1 cup "PM"
 1 cover "PM"
 1 gas igniter
 1 electric igniter
 1 handle for cup
 1 stirrer coupling
 1 thermometer ASTM 9C/IP 15C
 1 thermometer ASTM 10C/IP 16C

Note: Stopper (12-0791) for thermometer opening is required.
Temperature Range: +40 to +360 °C (+104 to +680 °F)

12-1650 Power supply: 230 V, 50/60 Hz

12-1651 Power supply: 115 V, 50/60 Hz

ANEXO A: Especificaciones técnicas del equipo Flash Point Pensky - Martens

Fuente: (Petrotest, 2012).

Características de la muestra	GRUPO			
	1	2	3	4
Presión de vapor Red a 37.8°C en Pa (lb/pulg ²).	0,65 x 10 ⁵ (9,5) o más	bajo 0,65 x 10 ⁵ (9,5)	bajo 0,65 x 10 ⁵ (9,5)	bajo 0,65 x 10 ⁵ (9,5)
Destilación Punto inicial de ebullición (°C) Punto final (°C)			100 o menos	100 o más
	250 o menos	250 o menos	más de 250	más de 250
Material a utilizarse Termómetro de destilación ASTM	7 c	7 c	7 c	8 c
Diámetro del agujero del soporte del matraz	3 cm	3 cm	5 cm	5 cm
Matraz	100 cm ³	100 cm ³	125 cm ³	125 cm ³
Temperatura para comenzar el ensayo Matraz y termómetro (°C)	13 a 18	13 a 18	13 a 18	No superior a la del ambiente
Soporte del matraz y envolvente (°C)	No superior a la del ambiente			
Probeta graduada y muestra (°C)	13 a 18	13 a 18	13 a 18	13 a ambiente
Condiciones durante el ensayo Temperatura del baño condensador (°C)	0 a 1	0 a 4	0 a 4	0 a 60
Temperatura del baño de la probeta (°C)	13 a 18	13 a 18	13 a 18	± 3°C de la temperatura de la muestra
Tiempo transcurrido desde la iniciación del calentamiento hasta llegar al punto inicial de la ebullición	5 a 10 min.	5 a 10 min.	5 a 10 min.	5 a 15 min.
Tiempo transcurrido desde el punto inicial de ebullición hasta llegar al 5 ^o de recuperado	60 a 75 seg.	60 a 75 seg.	—	—
Velocidad media uniforme de condensación desde el 5 ^o de recuperado a 5 cm ³ de residuo en el matraz (cm ³ /min)	4 a 5	4 a 5	4 a 5	4 a 5
Tiempo transcurrido desde el 5 ^o de residuo hasta el punto final (min)	3 a 5	3 a 5	máx. 5	máx. 5

ANEXO B: Condiciones de ensayo para la prueba de destilación fraccionada

Fuente: (NTE INEN 926).

Specifications & Description

ASTM Method	D 86/D 285
Power (VAC)	115
Length (in)	15 1/4
Height (in)	19 1/2
Width (in)	18 1/4
Length (cm)	38.735
Height (cm)	49.53
Width (cm)	46.355
Description	Front View Distillation Apparatus, Group 4, left side, 115 VAC

MORE ABOUT THIS ITEM

Front View Distillation Apparatus, Group 4

Designed for testing grade no. 2 fuel oil, grade no. 2-D diesel fuel oil, and other distillates requiring condenser bath temperatures up to 140°F (60°C). Also suitable for gasolines, aviation turbine fuels, naphthas, kerosenes and other liquid petroleum products. Features a 300 W copper immersion condenser heater with stepless electronic control.



ANEXO C: Especificaciones técnicas del equipo Koehler – K45300

Fuente: (Cole - Parmer Company, 2020)

CLASIFICACIÓN	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN ^A
Lámina recién pulida	B
1	Ligeramente atacada	a. Color anaranjado claro, casi el mismo color de la lámina recién pulida b. Anaranjado oscuro
2	Medianamente atacada	a. Vino tinto b. Lavanda c. Multicolor con color azul lavanda y/o plateado, sobre fondo vino tinto. d. Plateado e. Bronce o dorado
3	Muy atacada	a. Revestimiento color magenta sobre bronce b. Multicolor con vivos rojo y verde, pero sin gris
4	Corrosión neta	a. Negro claro, gris oscuro o marrón con verde poco perceptible b. Negro opaco o grafito c. Negro brillante o azabache
<p>^A El patrón de referencia ASTM para corrosión de la lámina de cobre se hace con láminas cuyas características cumplen estas descripciones.</p> <p>^B La lámina pulida se incluye en la serie sólo como una indicación de la apariencia que una lámina correctamente pulida debe tener antes del ensayo; no es posible obtener una lámina con éste mismo aspecto después de un ensayo, incluso con una muestra completamente no corrosiva.</p>		

ANEXO D: Categorización para resultados de corrosión de lámina de cobre

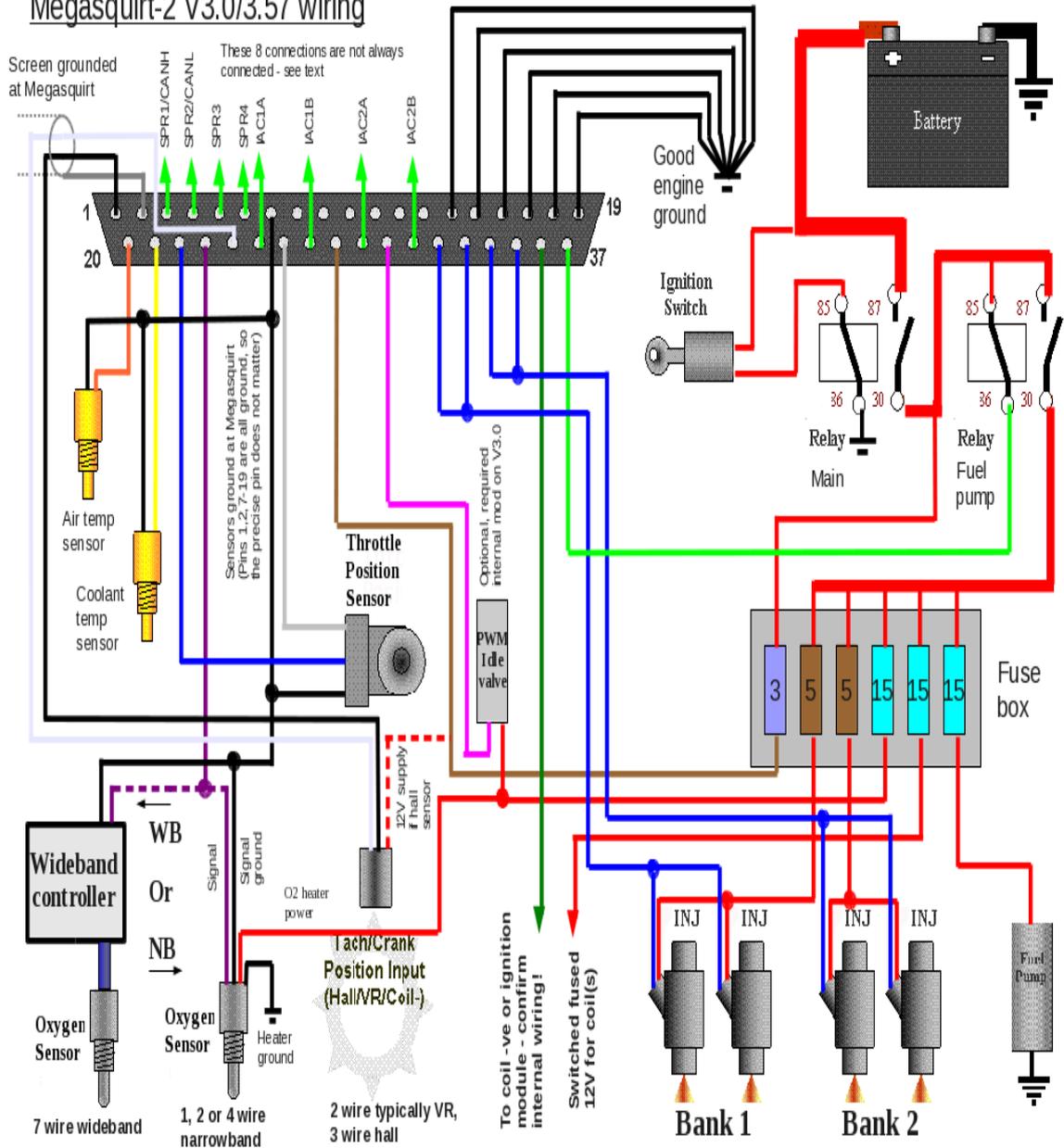
Fuente: (NTE INEN 927)

	Termostato de inmersión	Termostato de calefacción			Termostato de refrigeración		
Características técnicas	A	A 6	A 12	A 24	RA 8	RA 12	RA 24
Rango de temperatura de trabajo °C	25...85	25...85	25...85	25...85	-25...85	-25...85	-25...85
Estabilidad de temperatura +/-K	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Potencia de calefacción máx. 230V/115V/100V kW	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0	1.5/1.15/1.0
Potencia de refrigeración a 20 °C kW	-	-	-	-	0.225	0.325	0.425
Presión máxima de la bomba bar	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Caudal máximo de bomba** L/min	15	15	15	15	15	15	15
Volumen de baño L	-	2.5...5.5	8...12	18...25	5...7.5	9.5...14.5	14...22
Abertura del baño mm	-	145 x 161	235 x 161	295 x 374	165 x 190	300 x 190	350 x 290
Profundidad del baño mm	-	150	200	200	160	160	160
Referencia 230 V, 50/60 Hz	LCE*0226	LCB*0733	LCB*0734	LCB*0735	-	-	-
Referencia 230 V, 50 Hz	-	-	-	-	LCK*1907	LCK*1908	LCK*1909
Referencia 115 V, 60 Hz	LCE*4226	LCB*4733	LCB*4734	LCB*4735	LCK*4907	LCK*4908	LCK*4909
Referencia 100 V, 50/60 Hz	LCE*6226	LCB*6733	LCB*6734	LCB*6735	LCK*6907	LCK*6908	LCK*6909

ANEXO E: Especificaciones técnicas para el equipo LAUDA ALPHA A 12

Fuente: (LAUDA Alpha Company)

Megasquirt-2 V3.0/3.57 wiring



ANEXO F: Diagrama eléctrico de conexión MS II programable

Fuente: (Megasquirt 2 - External wiring layouts)

Características del Analizador de Gases Portátil KANE 4-2

- Para vehículos de GASOLINA, GLP, GNC & DIESEL
- Tiempo de calentamiento menor a 2 minutos
- Comunicación a PC/ANDROID: Bluetooth – RS-232
- Memoria/ Data Logging: 500 TESTS
- Peso: 1 Kg.
- Dimensión. Unidad Principal: 220 x 55 x 120mm.
- Sonda: 350 x 15mm.
- Manguera: 4 metros.
- Temperatura Ambiente: 5 – 45 °C
- Humedad: 10 – 90% RH no condensada
- Temperatura Almacenamiento: 0 – 50 °C
- Alimentación Cargador Baterías: 100/240V – 47/63HZ
- Salida Cargador Baterías: 12 VDC.
- Respaldo Baterías: 4 horas con full carga
- Varios Idiomas
- Fácil mantenimiento
- Bluetooth incorporado
- Control de velocidad de bomba
- Garantía: 1 año calendario
- Servicio técnico y repuestos
- Contamos con **GAS PATRÓN CERTIFICADO** para calibraciones anuales.

RANGOS DE MEDICIÓN

- CO: 0 – 10% (sistema infrarrojo)
- CO₂: 0 – 16% (sistema infrarrojo)
- HC: 0 – 5000 PPM (sistema infrarrojo)
- O₂: 0 – 21% (celda electro-química)
- NO_x: 0 – 5000 PPM (con sensor opcional)
- λ : 0.8 – 1.2 (calculado)
- AFR Gasolina: 11.76 – 17.64 (calculado)
- AFR GLP: 12.48 – 18.72 (calculado)

ANEXO G: Datos técnicos Kane auto plus 4-2

Fuente: (GlobalTech equipos automotrices)

- COMBUSTIBLE Y ALIMENTACIÓN DEL MOTOR -

ALIMENTACIÓN

Inyección	inyección multipunto
-----------	----------------------

COMBUSTIBLE

Combustible	sin plomo
Distanc combustible	35
Tipo de combustible primario	gasolina

DEPOSITO DE COMBUSTIBLE

Tipo	principal
Capacidad (l)	46

- PESOS -

PESOS

Peso motor sobrecargado (kg)	1950
Peso en vacío (puñetas) (kg)	1305
Peso motor remolcado con freno (kg)	1300
Peso motor remolcado sin freno (kg)	500
Peso peso inc. conductor	si

- PRESTACIONES -

PRESTACIONES

Velocidad máxima (km/h)	163
-------------------------	-----

POTENCIA

Normativa de medida	CEE
Potencia máxima (kW)	85
Potencia máxima (CV)	115
Rpm para la potencia máxima (min.)	6000
Par máximo (en Nm)	155
Rpm para el par máximo (min.)	4000
Potencia de combustible primario o secundario	primario

CONSUMO COMBUSTIBLE

Normativa	ECE 99/100
Urbano (l/100km)	7.7
Extraurbano (l/100km)	5.0
Combinado (l/100km)	6.0
Urbano (km/l)	13.0
Extraurbano (km/l)	20.0
Combinado (km/l)	16.7
Autonomía - combinado (kms)	767
Autonomía - combinado (millas)	477

- TRANSMISIÓN -

TRACCIÓN

Ruedas motrices	delantero
-----------------	-----------

TRANSMISIÓN

Transmisión	manual
Velocidades	5
Situación de la palanca	superior
Relación de la 1ª. velocidad (-1)	3.819
Relación de la 2ª. velocidad (-1)	2.158
Relación de la 3ª. velocidad (-1)	1.401
Relación de la 4ª. velocidad (-1)	1.121
Relación de la 5ª. velocidad (-1)	0.888
Relación de la marcha libre (-1)	0.545
Descripción de la transmisión	manual

- MOTOR -

MOTOR

Cc	1590
Libras	3.6
Diámetro	75.0
Carroz	81.5
Relación de compresión	10.8
Cilindros	4
Configuración	en línea
Distribución	válvulas dobles en cabeza (DOHC)
Distribución variable	si
Válvulas por cilindro	4
Código motor	F16D4

NORMA DE EMISIONES

Normativa	EU5
Wiel test - g/km (combinado)	141
Alergias - emi	

ETIQUETA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Etiqueta de eficiencia	B
------------------------	---

- DIMENSIONES -

DIMENSIONES EXTERIORES

Longitud (mm)	4398
Anchura (mm)	1735
Altura (mm)	1517
Batida (mm)	2525
Ancho de vía delantero (mm)	1509
Ancho de vía trasero (mm)	1509
Diámetro de giro entre ejes (mm)	10080
Diámetro de giro entre paradas	10500

DIMENSIONES INTERIORES

Altura conquelecho delante (mm)	956
Altura conquelecho deltras (mm)	978
Espacio delantero para las piernas (mm)	1061
Espacio trasero para las piernas (mm)	901
Anchura de los hombros (mm)	1258
Anchura de brazos en hombros (mm)	1347

CAPACIDAD DEL COMPARTIMENTO DE CARGA

Hasta las ventanillas de arriba montadas (l)	250
Hasta el techo desplegado o quitado (l)	650

- ASIENTOS -

ASIENTOS

Piezas	5
Configuración de asientos	2+3

TAPICERÍA DE LOS ASIENTOS

Material principal	tela
Material secundario	tela

ASIENTOS DELANTEROS

Situación	conductor
Tipo	individual
Número ajustes electrónicos	-
Aj. respaldo	manual
Ajuste longitudinal	manual
Ajuste en altura	manual

ANEXO H: Ficha técnica del motor 1600 cc

Fuente: Coches y concesionarios, 2015

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL COMBUSTIBLE.-

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE (GASOLINA EXTRA)	Condiciones Solicitadas por la EPMAPS	Condiciones Propuestas por el Oferente
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS		
Estado Físico	Líquido a temperatura ambiente	
Aspecto	Transparente y brillante	
Color	Verde	
Olor	Característico	
Temperatura de ebullición inicial	Aproximadamente 35° C	
Temperatura de ebullición final	Aproximadamente 210° C	
Solubilidad en agua	0.003-0.010 kg/m3	
Presión de Vapor Reid	48-78 Kpa	
Densidad de Vapor (Aire=1)	>3	
Densidad a 15 C:	735-785 kg/m3	
Densidad Relativa	0.7643	
Viscosidad Cinemática 37.8°C:	<1 mm ² /s	
Octanaje	87	
Calor Latente Vaporización	71-78 cal/gm	
Calor De Combustión	19277 BTU/lb	
RIESGOS Y EXPLOSIÓN	Cantidad mínima requerida por la EPMAPS	Cantidad propuesta por el Oferente
Punto de inflamación	-42° C (PMCC)	
Temperatura de Auto ignición	>250°C	
Límite Superior de Inflamabilidad	6.8% (V/V)	
Límite Inferior de Inflamabilidad	1% (V/V)	

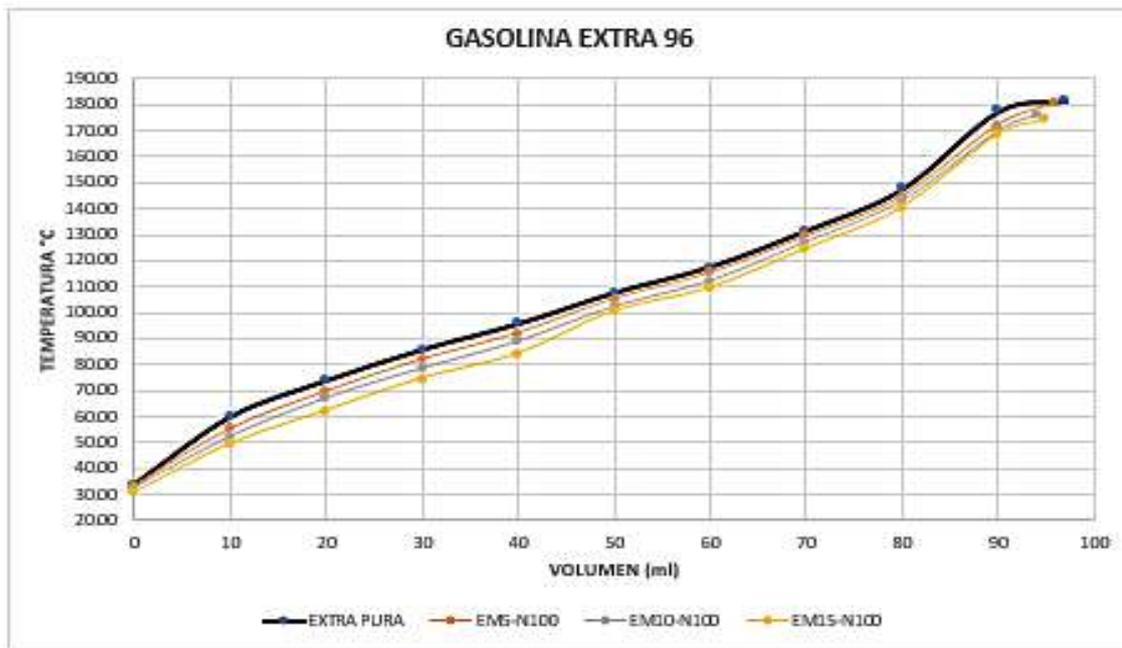
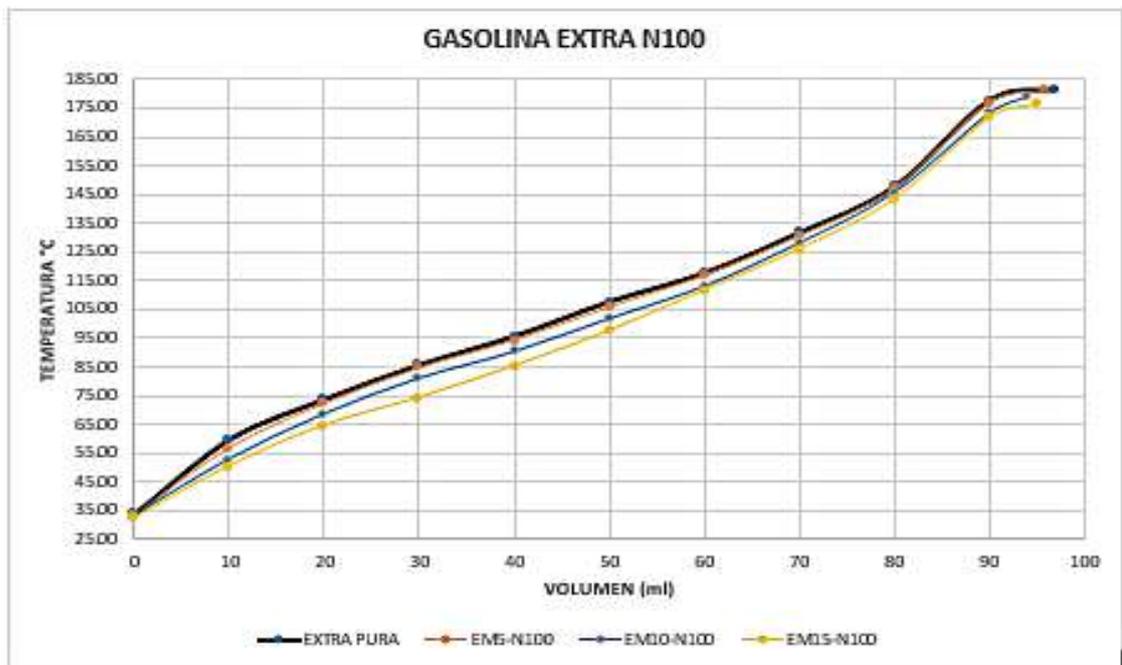
ANEXO I: Requerimientos Técnicos de la Gasolina Extra

Fuente: Requerimientos para comercialización de derivados del petróleo

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE (GASOLINA SÚPER)	Condiciones Solicitadas por la EPMAPS	Condiciones Propuestas por el Oferente
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS		
Estado Físico	Líquido a temperatura ambiente	
Aspecto	Transparente y brillante	
Color	Amarillo	
Olor	Característico	
Temperatura de ebullición inicial	Aproximadamente 35° C	
Temperatura de ebullición final	Aproximadamente 210° C	
Solubilidad en agua	0.003-0.010 kg/m ³	
Presión de Vapor Reid	6 PSIA	
Densidad de Vapor (Aire=1)	3-4	
Densidad a 15 C:	0.71-0.72 g/ml.	
Densidad Relativa	0.7174	
Viscosidad Cinemática 37.8°C:	<1 mm ² /s	
Octanaje	92	
Calor Latente Vaporización	71-78 cal/gm	
Calor De Combustión	19277 BTU/lb	
RIESGOS Y EXPLOSIÓN	Cantidad mínima requerida por la EPMAPS	Cantidad propuesta por el Oferente
Punto de inflamación	-42° C (PMCC)	
Temperatura de Auto ignición	>280° C	
Límite Superior de Inflamabilidad	7.4% (V/V)	
Límite Inferior de Inflamabilidad	1.4% (V/V)	

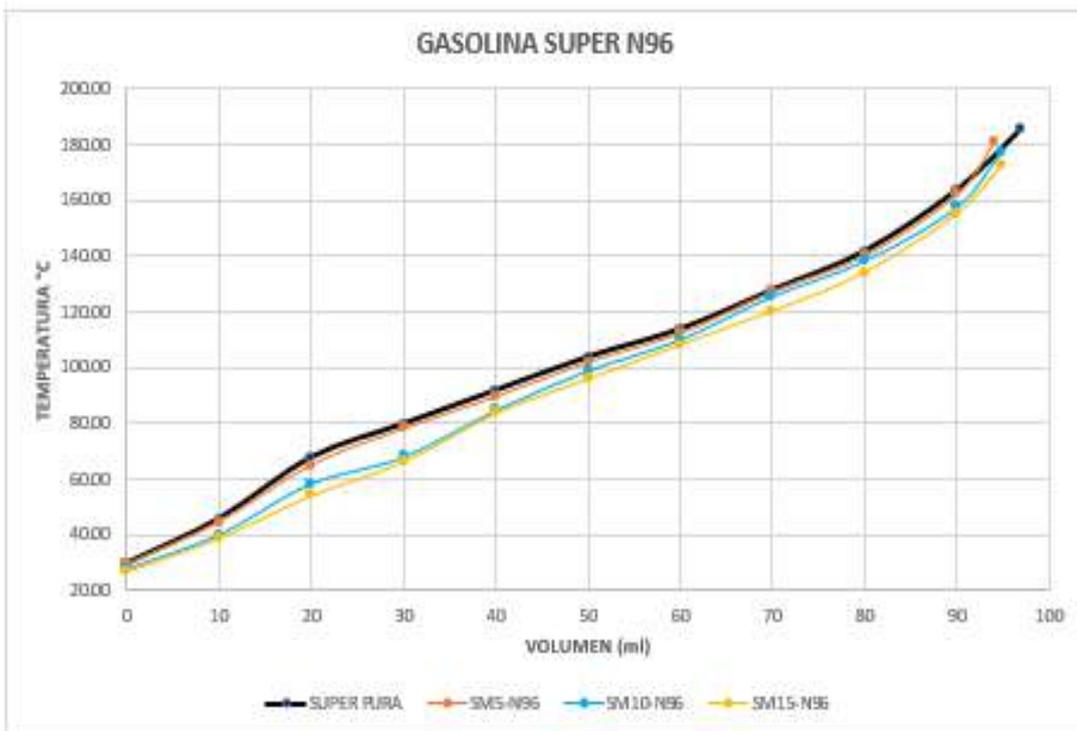
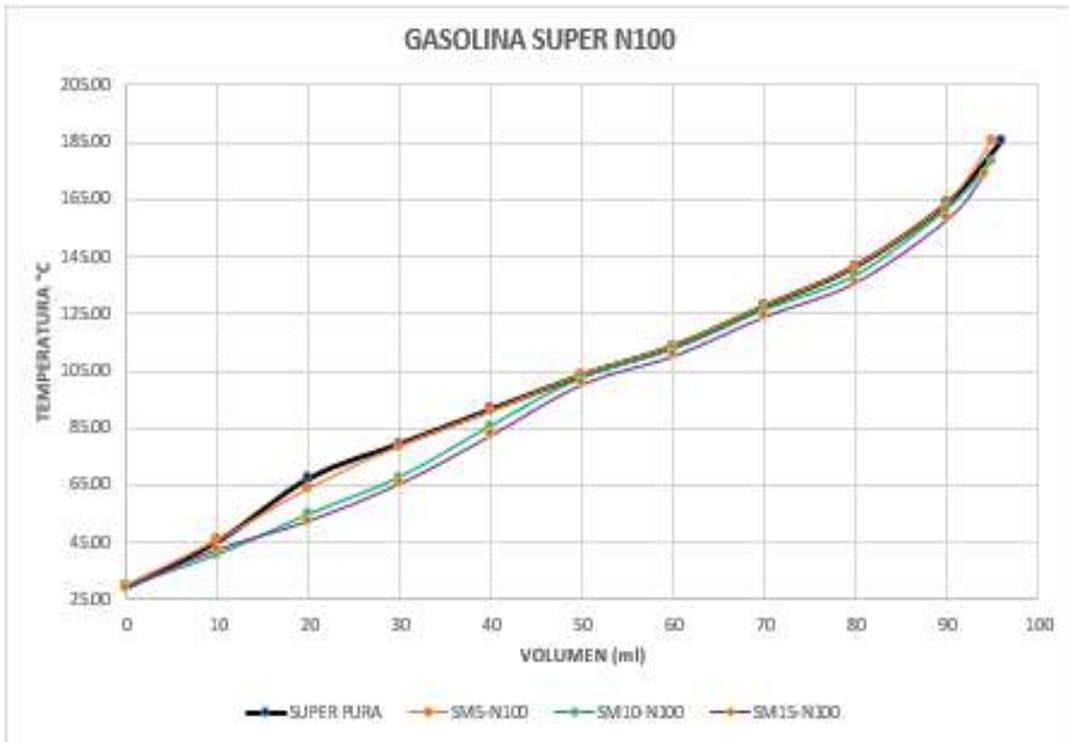
ANEXO J: Requerimientos Técnicos de la Gasolina Super

Fuente: Requerimientos para comercialización de derivados del petróleo



ANEXO K: Curvas de destilación fraccionada para la gasolina extra

Fuente: Collaguazo, J. 2021



ANEXO L: Curva de destilación fraccionada para la gasolina super

Fuente: Collaguazo, J. 2021