



ANALISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DEL BIO- ETANOL EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA CHEVROLET AVEO 1.6L

Juan Sebastián Lucero Sanabria

Universidad ECCI
Departamento de Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C, Colombia

2022

ANÁLISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DEL BIO-ETANOL EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA CHEVROLET AVEO 1.6L

Juan Sebastián Lucero Sanabria

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Tecnología Mecánica automotriz

Director (a):

Ing. José David Barón Pinilla

Codirector (a):

M.Sc., Ing. Marggie Lisbeth Tovar Torres

Línea de investigación:

Semillero de investigación en generación y aplicación de la energía (SIGAE)

Grupo de investigación:

Grupo de investigación de aprovechamiento tecnológico de materiales y energía
(GIATME)

Universidad ECCI

Facultad de ingeniería

Bogotá D.C, Colombia

2022

“Las fuentes de energía renovable ofrecen potencial para transformar la calidad de vida y mejorar las perspectivas económicas de miles de millones de personas”

“Anónimo”

Resumen

El consumo y producción de combustibles fósiles sobre la tierra ha causado desequilibrios energéticos y climáticos que como consecuencia provocan alteraciones térmicas en el medio ambiente debido a los gases de combustión emitidos por medios de transporte terrestres, estos gases se expanden rápidamente hacia la atmosfera provocando el cambio climático, alterando el efecto invernadero y afectando al ser humano ocasionándole problemas de salud. En este proyecto se realizará un análisis de emisiones en un motor de combustión interna M.C.I y el motor al que se le realizara la prueba pertenece a un Chevrolet aveo 1.6L como objetivo se propone analizar el comportamiento y la variación de las emisiones de un motor de combustión interna (MCI) con mezclas dosificadas en recipientes esterilizados de biocombustible Bio-etanol (E) y gasolina pura en la altura de la ciudad de Bogotá D.C y verificar la funcionalidad del motor (Chevrolet Aveo 1.6L) usando Bio-combustibles, se usaran dispositivos de medición como un analizador de gases que registrara los resultados de emisiones en tiempo real y una báscula de precisión que medirá el pesaje por mezcla para así obtener datos sobre consumo por medio de un análisis gravimétrico desde la bomba de combustible. Este experimento evaluara 6 análisis de emisiones (Gasolina pura, E10, E15, E20, E50, E85) de acuerdo con la normatividad NTC 4983, resolución 910 de 2008 en marcha mínima, aceleración cruce, aceleración máxima y desaceleración del motor de combustión interna, permitiendo obtener resultados sobre si estos Bio-combustibles pudieran usarse masivamente en un parque automotor y que ventajas o desventajas tendrán el uso de las mezclas preparadas de los Bio-combustibles. El uso de estos Bio-combustibles puede reducir las emisiones contaminantes exponencialmente minimizando así las emisiones de carbono. Indudablemente el futuro energético debe ser sostenible y renovable y los Bio-combustibles son una fuente energética segura, valida y confiable.

Palabras clave: Combustibles, recursos, energía, emisiones, combustión.

Abstract

Analysis of emissions and functioning of Bioethanol in a spark ignition engine Chevrolet Aveo 1.6L

Description: The consumption of fossil fuels on earth has caused energy and climatic imbalances that as a consequence cause by thermal alterations in the environment due to the combustion gases emitted by terrestrial means of transport, these gases expand rapidly into the atmosphere causing climate change, altering the greenhouse effect and flourishing the human being causing health problems. In this project, an analysis of emissions will be carried out on an MCI internal combustion engine and the engine to which the test will be carried out belongs to a Chevrolet Aveo 1.6L, as an objective it is proposed to analyze the behavior and variation of the emissions of an engine of internal combustion (MCI) with mixtures dosed in sterilized containers of biofuel Bio-ethanol (E) and pure gasoline in the height of the city of Bogotá D.C and verify the functionality of the engine (Chevrolet Aveo 1.6L) using Bio-fuels, will be used measurement devices such as a gas analyzer that will record the results of emissions in real time and a precision scale that will measure the weighing by mixture in order to obtain data on consumption through a gravimetric analysis from the fuel pump. This experiment will evaluate 6 emissions analyzes (pure gasoline, E10, E15, E20, E50, E85) in accordance with the NTC 4983 regulations, resolution 910 of 2008 in idle speed, cruising acceleration, maximum acceleration and deceleration of the internal combustion engine, obtaining results on whether these Bio-fuels could be used massively in an automotive fleet and what advantages or disadvantages the use of prepared mixtures of Bio-fuels will have. The use of these Biofuels can exponentially reduce polluting emissions, thus minimizing carbon emissions. Undoubtedly the energy future must be sustainable and renewable and Bio-fuels are a safe, valid and reliable energy source.

Keywords: Fuels, resources, energy, emissions, combustion.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VI
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVI
Introducción	1
Descripción del problema	3
Formulación del problema	5
Objetivos de la investigación.....	6
Justificación.....	7
Delimitación	9
Capítulo 1	10
1.1 Marco teórico.....	10
1.1.1 Clases de combustibles fosiles en la actualidad.....	11
1.2 Programa energético nacional en Colombia: Representación energética local.	12
1.2.1 Tiempo estimado de vida para el petróleo en Colombia.	14
1.2.2 Autosuficiencia petrolera sobre el territorio colombiano.....	15
1.3 El efecto de los combustibles fósiles en Colombia y el mundo.....	15
1.3.1 El resultado del uso de combustibles fosiles.	16
1.3.2 Distribución de demanda de sectores con otros usos de combustibles fósiles	17
1.3.3 Proyección de oxigenación de los combustibles sobre el territorio nacional ..	17
1.3.4 Bioetanol o alcohol carburante	17
1.3.5 Producción de bioetanol.....	18
1.3.6 Fabricacion del bioetanol.....	19
1.3.7 Materias primas para la obtencion del bioetanol.....	20
1.3.8 Precios y estimaciones del Bioetanol vs. Gasolina	21

1.3.9 Plantas Productoras de bioetanol en Funcionamiento sobre el territorio colombiano.....	22
1.3.10 Procesamiento químico de la biomasa para la producción del Bio-combustible (bioetanol).....	22
Desnaturalización del bioetanol.....	23
1.3.11 Propiedades Químicas específicas de la gasolina y el etanol.....	24
1.3.12 Cuadro de comparación Bioetanol desnaturalizado-gasolina.....	24
1.3.13 Plantas productoras de bioetanol como combustible.....	24
1.3.14 Ventajas y desventajas del bioetanol.....	26
2. Capítulo 2.....	27
2.1 Marco Conceptual.....	27
2.1.1 Datos y fichas técnicas del motor Chevrolet Aveo 1.600.....	27
2.1.2 Datos técnicos.....	27
2.1.3 Motorización.....	28
2.1.4 Sistema de Inyección y Sensórica del Chevrolet Aveo 1.600.....	29
2.1.5 Componentes de salida - Actuadores.....	29
2.1.6 Parámetros de ignición.....	30
2.1.7 Sistema de ignición.....	30
2.2 Componentes del motor.....	31
2.2.1 Sistema de control electrónico del motor.....	31
2.3 Sistema de inyección - sensores.....	31
2.3.1 Sensor de oxígeno (LAMBDA).....	36
2.4 Desempeño técnico y cálculos prácticos del motor Aveo 1.6.....	38
3. Capítulo 3.....	41
3.1 Marco legal.....	41
4. Capítulo 4.....	42
4.1 Diseño metodológico.....	42
4.1.1 Revisión y funcionamiento del M.C.I - Iniciales.....	42
4.1.2 Prueba de compresión.....	43
4.1.3 Pruebas de fugas.....	45
4.1.4 Pruebas de Vacío.....	46
4.2 Funcionamiento general de motor.....	48
4.2.1 Funcionamiento de la bomba de combustible.....	48
4.2.2 Presión de combustible.....	48
4.2.3 Estado de las bobinas.....	49
4.2.4 Estado de las bujías.....	50
4.2.5 Filtro de aire.....	51
4.2.6 Revisión del nivel de aceite.....	51

4.2.7	Estado del sistema de refrigeración.....	51
4.3	Pruebas con mezclas de Bio-Combustible	52
4.3.1	Preparación del analizador de gases.....	53
4.3.2	Relación Aire/Combustible AFR – Factor lambda λ	54
4.3.3	Parámetros de medición.....	55
4.3.4	Parámetros de Relación Aire/Combustible AFR – factor lambda λ	55
4.3.5	Relación Aire combustible AFR – λ	56
4.3.6	Foto tacómetro	56
4.3.7	Análisis Gravimétrico de consumo de Biocombustible y pruebas realizadas.	57
4.3.8	Cálculo del volumen de la muestra.....	58
4.3.9	Cálculo de la densidad de la mezcla	59
4.3.10	Método de toma de pesos del combustible.....	59
4.3.11	Experimentación inicial.....	59
4.3.12	Cálculo de consumo por pruebas realizadas	62
4.3.13	Análisis de emisiones	63
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
5.1.1	Resultado del consumo de Combustible.....	64
5.1.2	Resultados de las emisiones producidas.....	70
6.	Conclusiones	74
6.1	Conclusiones	74
6.2	Recomendaciones	75
A.	Anexo A-A: Registro fotográfico de pruebas.....	76
B.	Anexo B-B: Registro de documental del proyecto.	85
	Bibliografía	89

Lista de figuras

	Pág
Figura 1-1: Diagrama de procesos de los combustibles fósiles dedicados al transporte (amaya, 2018)	10
Figura 1- 2: Evolución de la demanda energética de los principales sectores estimado vs. Consumo de combustibles fósiles (PJ – Peta joules) (Unidad de planeacion minero energetica, 2015).	12
Figura 1- 3: Evolución de la demanda de consumo final por sectores vs consumo (PJ- Petajoules) (Unidad de planeacion minero energetica, 2015).....	13
Figura 1- 4: Evolución de la demanda por sectores vs el consumo final PJ de consumo de combustibles fósiles (2050)	14
Figura 1- 5: Evolución de la demanda por sectores vs el consumo final PJ (2050)	14
Figura 1- 6: Diagrama estimado de reservas de crudo en Colombia desde el 2013 hasta el 2025 vs las reservas estimadas. (amaya, 2018) (Ecopetrol , 2017)	15
Figura 1- 7: Diagrama cíclico del consumo y reintegración de la energía desde la biomasa (Fedebiocombustibles , 2016).	18
Figura 1- 8: Ciclo de producción del Bio-etanol con fines de transporte. (RENOVETEC, 2013).....	19
Figura 1- 9: Representación gráfica de los precios en la actualidad de la gasolina/etanol/mezcla E8 hasta el año 2020 (Fedebiocombustibles , 2016)	21
Figura 1- 10: procesamiento químico de la biomasa de diferentes tipos de origen para la fabricación de etanol (RENOVETEC, 2013).	23
Figura 2- 1: Motor (E-TEC II 1.6 16V/1.4 16V DOHC (98/103HP) fuente//:autor.....	27
Figura 2- 2: Sensor de golpeteo (Knock sensor) Usado en el motor Chevrolet Aveo.....	32
Figura 2- 3: Demonstración de un modelo de sensor CKP usado en el motor Chevrolet Aveo.	33
Figura 2- 4: Sensor de posición de levas de 3 circuitos (Autoavance, 2018).	33
Figura 2- 5: Sensor de presión absoluta del múltiple de 3 cables fuente//. (Codigos DTC , 2020).....	34
Figura 2- 6: Sensor de posición usado en el motor Chevrolet aveo 1.6 (Universidad ECCI, 2020).....	34
Figura 2- 7: Sensor IAT ubicado en el inicio de la admisión del motor Chevrolet aveo fuente//. (Universidad ECCI, 2020).	35
Figura 2- 8: Sensor ECT ubicado en la parte central del bloque motor Chevrolet Aveo 1.6 fuente//. (Universidad ECCI, 2020).....	36

Figura 2-9: Sensor de oxígeno usado en el Chevrolet Aveo 1.6 de dos cables (Aveo, 2008)	36
Figura 2- 10: Inyector electrónico usado en el motor Chevrolet aveo Fuente//: (Company, 2003).	37
Figura 2- 11: Representación del solenoide de marcha mínima IAC de tres cables por el ETC (Electronic throttle Controller) (Universidad ECCI, 2020).....	38
Figura 4- 1: kit de testeo de compresión 5606 junto a 3 acoples y 3 mangueras adaptables de prueba.	43
Figura 4- 2: Lectura del primer salto de la compresión del primer cilindro a), b) segundo salto de compresión.....	44
Figura 4- 3: a) kit probador de fugas OTC #5609 cilindros I, b) fuente de aire comprimido con presión de 120 psi.....	45
Figura 4-4: a) Prueba de fugas para los cilindros 1-4 en PMS y b) Prueba de fugas para los cilindros 2-3 en PMS.	46
Figura 4- 5: a) 5613 vacumm pressure gauge kit utilizado en esta investigación b) equipo de vacío en marcha mínima conectado a una línea de vacío en el múltiple de admisión. A continuación, en la Tabla 4-3 se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de vacío en el motor.....	47
Figura 4- 6: Bomba de inyección de combustible electrónica Chevrolet Aveo 1.6L.	48
Figura 4- 7: Manómetro de presión de combustible-Alfatest utilizado para comprobar la presión de salida de combustible hacia los inyectores.	49
Figura 4- 8: a) Conjunto de bobinas de encendido 1 y 2 bobinas y b) Conector del primario de encendido.....	49
Figura 4- 9: Juego de bujías standard de 1 electrodo de marca NGK para el motor Chevrolet Aveo.	50
Figura 4- 10: a) lectura de 7.19 kvolt, b) lectura de 4.36 Kvolt, c) lectura de 5.65 Kvolt y d) lectura de 4.36 kvolt. El valor mínimo de registro de intensidad debe ser de 3.54 kvolt. .	50
Figura 4- 11: Filtro de combustible standard del Chevrolet Aveo.....	51
Figura 4- 12: Bayoneta indicadora de nivel de aceite.....	51
Figura 4- 13: Deposito de refrigerante del motor Chevrolet Aveo 1.6L	52
Figura 4- 14: Muestras individuales (6) de las mezclas utilizadas para la realización del análisis.....	53

Figura 4- 15: a) Analizador HANATECH-2400 usado en la metodología experimental de este proyecto b) Fecha de calibración y verificación el 23 de agosto de 2021 perteneciente a la Universidad ECCI c) sonda de pruebas utilizada en el experimento..	54
Figura 4- 16: Foto tacómetro STINGER ELECTRONICS MODEL - 3660 puede registrar de manera manual las RPM 's del motor por medio de un láser conducido hacia el volante del motor.....	57
Figura 4- 17: a) Balanza LEXUS ELECTRONIC WEIGHING – FENIX MAXIS b) nivel y usado para conocer el peso del combustible en la bomba de combustible del motor.	58
Figura 4- 18: e) probetas con gasolina pura, volumen de 500 ml, f) recipiente de gasolina pura dosificada en 1L.	60
Figura 4- 19: Pesaje inicial del depósito de gasolina	60
Figura 4- 20: Cero inicio del depósito con el combustible cargado	61
Figura 4- 21: Consumo final del análisis con gasolina pura	61
Figura 5-1: Representación gradual del consumo de combustible durante el experimento.	69
Figura 5- 2: Grafico combinado del comportamiento de emisiones por mezcla de combustible.	70
Figura 5-3: Instante máximo de emisiones encontrado para la mezcla E85 durante la prueba crucero fuente// autor	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Capacidad de producción de las plantas que actualmente producen de Bio – etanol como Bio-combustible. (Fedebiocombustibles , 2016).....	22
Tabla 1-2: Tabla de propiedades química de la gasolina y el Bio-etanol. (Chile, 2017) ..	24
Tabla 1-3: Propiedades químicas fundamentales de la gasolina pura con respecto al etanol desnaturalizado Fuente// (Guias del participante modulo 3 ethanol response., 2017)	24
Tabla 2-1: Ficha técnica del motor Aveo.....	27
Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del motor.	28
Tabla 2-3: Estándar de ignición usado en el sistema de encendido del Chevrolet Aveo (Aveo, 2008).	30
Tabla 2- 4: Especificaciones técnicas de motor Chevrolet Aveo 1.6L.	38
Tabla 4- 1: Datos de compresión registrados en psi de las pruebas realizadas.	44
Tabla 4- 2 : Resultados de la prueba de fugas del análisis con la inducción de aire comprimido de 100 psi teniendo los resultados en cilindro 1 fugas del 20% por 80 psi, cilindro 2 fugas del 90% por 90 psi, el cilindro 3 fugas del 5% por 95 psi y cilindro 4 del 80% por 80 psi.	45
Tabla 4- 3: Resultados obtenidos a partir del análisis de prueba de vacío.	47
Tabla 4- 4: Porcentajes de las 6 mezclas de Combustible/Biocombustible.	53
Tabla 4- 5: Rango de emisiones permitidas sobre el territorio colombiano bajo la normatividad NTC 4983 (ICONTEC).	55
Tabla 4- 6: Parámetros de medición de mezcla de aire/combustible y factor lambda (x-engineer.org, 16).....	55

Tabla 4- 7:Tabla de datos del análisis gravimétrico para gasolina pura. 62

Tabla 4-8: Datos registrados de densidad y de consumo de prueba por mezclas..... 62

Tabla 5- 1:Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con gasolina pura. 64

Tabla 5- 2: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E10..... 65

Tabla 5-3: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E15. 65

Tabla 5-4: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E20. 66

Tabla 5-5: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E50. 66

Tabla 5-6: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E85. 67

Tabla 5-7: Resultados del consumo de combustible por cada 10 minutos de prueba con el motor en funcionamiento. 68

Tabla 5-8: Resultado del análisis de emisiones por mezcla/combustible de gasolina hasta la mezcla E85..... 70

Lista de Símbolos y abreviaturas

Sub-indices

A - Área

CAD Crank angle degree (Angulo de cigüeñal)

CO₂ Dióxido de carbono

CO Monóxido de carbono

C Carrera del pistón

D Diámetro del pistón

DOHC Double over head camshaft

EGR Exhaust Gas Recirculation (Recirculación de gases de escape)

F Frecuencia

HC Hidrocarburos

I Corriente

kV kilovoltaje

Mep Presión media efectiva indicada

L Longitud de la biela

m Flujo másico

MAP ManifoldPressure (Presión del múltiple de Admisión)

n Régimen de giro

O₂ Oxígeno

P Presión

Q Calor

RC Relación de compresión

Rpm Revoluciones por minuto

SI Spark Ignition (Encendido por Chispa)

T Temperatura

T Torque

TPS Throttle Position Sensor (Sensor de posición del acelerador)

V Voltaje

VA Válvula de Admisión

VE Válvula de Escape

Vd Volumen desplazado por el pistón

Vc Volumen de la cámara de combustión

Vmp Velocidad media del pistón

Introducción

La humanidad y su desarrollo por realizar actividades que satisfagan sus necesidades han originado cambios irremediables sobre el planeta tierra principalmente por el excesivo uso de los combustibles fósiles con fines de transporte, desde la era de revolución industrial hasta la actualidad se ha detectado un excesivo aumento en las cantidades de gases contaminantes emitidos a la atmósfera terrestre que han limitado la capacidad regenerativa de la atmosfera para eliminar gases como: Dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e Hidrocarburos o hexanos (HC), que como consecuencia ha originado el calentamiento global y cambios abruptos en el efecto invernadero de la tierra que cada día avanza rápidamente, estos cambios provocan dificultades tanto para la naturaleza como para el ser humano para adaptarse a las nuevas condiciones de su entorno, si bien el calentamiento global se origina del aumento del efecto invernadero, mediante números análisis y estudios se comprobó que la radiación térmica emitida por la Tierra queda atrapada en la atmósfera debido a los gases que se originan con este efecto (GEI). Algunos de estos gases se presentan de forman natural y necesaria para mantener la temperatura del planeta dentro de rangos habitables. Una problemática es que las emisiones de gases que son generadas por el uso de combustibles fósiles empleados en motores de combustión interna (MCI) se han disparado en comparación con la era preindustrial. “Las emisiones producidas por el ser humano más recientes de GEI son las más altas de la historia”. Como objetivo la sociedad se encuentra en promover un desarrollo sostenible que por medio de nuevas tecnologías de transporte sea ser renovable, resiliente con el clima y con emisiones controladas o nulas de gases de efecto invernadero. Una alternativa potencial se basa en usar biomasa terrestre derivada de caña de azúcar que al ser sometida a distintos tratamientos y procesos pueden convertirse en Bio-etanol, El Bio-etanol o etanol anhidro posee unas propiedades químicas que lo hacen compatible para implementarse como biocombustible con los motores de combustión interna (MCI) y que al usarse, las emisiones contaminantes se reduzcan considerablemente promoviendo un equilibrio entre la necesidad del ser humano por transportarse y el ciclo vital de la naturaleza permitiendo que los GEI sean mínimos y el

cambio climático se estabilice, parcialmente hasta lograr una transición energética permanente en donde se logre controlar las necesidades del ser humano y permitir el ciclo normal de vida sobre el planeta. Este proyecto busca analizar el comportamiento y la variación de las emisiones de un motor de combustión interna (MCI) con distintas mezclas de biocombustible bio-etanol (E) y gasolina pura en la altura de la ciudad de Bogotá D.C y verificar la funcionalidad del motor (Chevrolet Aveo 1.6L), utilizando dispositivos de medición como un analizador de gases en donde se obtendrán resultados de emisiones en tiempo real y una báscula de precisión que medirá el pesaje por mezcla para así obtener datos sobre consumo por medio de un análisis gravimétrico desde la bomba de combustible. Este experimento evaluará 6 análisis de emisiones (Gasolina pura, E10, E15, E20, E50, E85) de acuerdo a la normatividad NTC 4983, resolución 910 de 2008 en marcha mínima, aceleración crucero, aceleración máxima y desaceleración del motor de combustión interna, permitiendo obtener resultados sobre si estos Bio-combustibles pudieran usarse masivamente en un parque automotor y que ventajas o desventajas tendrán el uso de las mezclas preparadas de los Bio-combustibles. También existe la posibilidad que se pueda utilizar un banco de frenado de pruebas para simular la potencia máxima, torque máximo, presión media y rendimiento efectivo. Así como también verificar la relación de aire/combustible (AFR) y el factor lambda (λ) evaluando la mezcla rica – (par máximo y máximas emisiones) y mezcla pobre (consumo mínimo y mínimas emisiones).

Descripción del problema

A partir del año 2001 se implementó la ley 693 en Colombia, se estableció que en centros urbanos de más de 500.000 habitantes tendrán que contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes en calidad y cantidad que se mezclen con combustibles de origen fósil, establecido desde el órgano legislativo a cargo el ministerio de minas y energía (Colombia, 2001), el cual se reglamentó brevemente en los años de 2005, 2006 y 2007 (Juan Mantilla, Carlos Galeano, Alejandro Muñoz, 2016), considerándose como la bioenergía más prospectiva, pudiendo resultar ser una solución para la incontrolable situación de la contaminación del aire. Por otro lado, la producción de etanol de primera generación a partir de materias primas a base de almidones se ha desarrollado exitosamente con fines industriales y alimentarios. El proceso de producción del bioetanol lignocelulósico de segunda generación se encuentra en discusión ya que sobre el territorio brasileño existen biorrefinerías que componen la producción de bioetanol de segunda generación a partir de residuos de caña de azúcar (bagazo) comprobando la composición de biomasa lignocelulósica hasta el pretratamiento, hidrolisis y fermentación (Santos , Eichler , De Queiroz , & Gomes , 2020), pudiendo servir como camino que debe tomar Colombia de modelo de desarrollo en biocombustibles. Los residuos de la biomasa y su viabilidad económica no representan ninguna importante fuente de alimento de consumo humano ni perjudicarán el problema de la seguridad alimentaria, ni tampoco su disponibilidad, el problema está centrado en si será suficiente para cubrir la demanda total requerida para la fabricación del bioetanol (Maryanaa, Ma'rifatun, & Wheni I.a, 2014). En la actualidad existe una gran variedad de materias primas una de ellas es la caña de azúcar específicamente el “Bagazo” que surge en abundancia y sus propiedades y estructuras son más suaves en comparación a otras materias primas pudiéndose descomponer en un menor tiempo y de manera fácil, tienen disponibilidad como desperdicio de los residuos agrícolas y residuos de procesos de producción del ingenio azucarero, pudiendo utilizarse para la producción de bioetanol (dos Santos Masson, Gravatim Costa, Pelegrini Roviero, & de Freitas, EBSCOhost, 2015). En Colombia, los años entre 2005 a 2007 se aprobó y se

promulgo el decreto 1135 del 31 de marzo, modificando el decreto 2629 de 2007 (Ministerio de minas y energía , 31), en el cual se produjo una gran controversia pues tuvo lugar a un cambio repentino que presento para establecer el precio base del etanol y los productores del mismo, la ley establecio en un inicio que las ensambladoras, importadoras y concesionarios que distribuyan y/o comercialicen en el país vehículos automotores hasta 2000 cm³ de cilindrada con “ciclo Otto” deberán estar acondicionados para que sus motores funcionen con sistema Flex- Fuel, en teoría, que puedan funcionar normalmente utilizando indistintamente gasolinas básicas o mezclas, compuestas por gasolinas puras de origen fósil con al menos 85% de Bio-etanol “alcohol carburante” (Federacion colombiana de biocombustibles, 2011), con el objetivo de disminuir las emisiones contaminantes de los combustibles fósiles actuales, mediante el uso del bioetanol proveniente de caña de azúcar. En Colombia se decretó que a partir del 2012 algunos fabricantes de vehículos podrán incluir en su portafolio, vehículos nuevos de menos de 2000 cm³ que tendrían que usar 85% de etanol y 15% de gasolina (Flex fuel - bioetanol). La medida abrió una gran polémica y nuevas dudas sobre los beneficios que tendría esa decisión. También se tienen dificultades con los cultivos actuales de caña de azúcar pues resulta desafiante cumplir la medida, y porque la industria automotriz dice no estar preparada para esa insólita exigencia (Fedebiocombustibles, 2012). Una de las discusiones que han surgido a través de estos temas, principalmente a nivel nacional, trata del cambio en las condiciones de operación de los motores, temática en la cual se enfoca el presente trabajo inicialmente en la ciudades de altura como Bogotá ya que se tiende a tener problemas de potencia, relación de consumo, encendido y análisis de emisiones (Federacion colombiana de biocombustibles, 2011).

Formulación del problema

Se busca comprobar y analizar las emisiones del motor Aveo 1.6 L, en la ciudad de Bogotá y si estas mejorarán utilizando biocombustibles con mezclas de gasolina/bioetanol específicamente. También si podrá existir una opción viable de usar de forma masiva la mezcla de biocombustibles utilizando alcohol anhidro en mezclas de gasolina E10, E15, E20, E50, E85 y estudiar si los análisis de emisiones de los gases son los ideales para tener una alternativa de intercambio del CO₂ producido por los motores para que sean convertidos en O₂ a través del proceso de fotosíntesis con los árboles de la ciudad. No obstante, surgen incógnitas como, ¿si se utilizan estos biocombustibles podrán reducirse las emisiones en un parque automotor? ¿Qué ventajas y que desventajas tendrá el uso de las mezclas preparadas con biocombustibles?

Objetivos de la investigación

OBJETIVO GENERAL

Analizar las emisiones en un motor Chevrolet Aveo 1.6 L con mezclas de bioetanol - gasolina en proporciones de E10, E15, E20, E50, E85.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprobar el comportamiento y la funcionalidad del motor (Chevrolet Aveo 1.6) con distintas mezclas de bioetanol/gasolina E10, E15, E20, E50, E85 en la altura de Bogotá D.C.
- Analizar los parámetros de las emisiones de acuerdo con la Normatividad la NTC 4983 obtenidas con las diferentes mezclas utilizadas en marcha mínima, aceleración crucero, aceleración máxima y desaceleración del motor a combustión interna (MCI)
- Realizar una formulación Químico-Matemática de consumo de combustible del motor a partir de los biocombustibles utilizados.

Justificación

Una de las necesidades del ser humano es transportarse y tener una calidad de vida saludable, por eso resulta indispensable utilizar nuevas alternativas de combustibles para transporte para preservar la vida y la salud. El afán por encontrar tecnologías nuevas, renovables y seguras se ha convertido en un reto, ya que el uso desmedido del petróleo sobre el mundo representa el 37% del consumo mundial de energía (KUNDIYANA D.K, 2016), la combustión arroja al ambiente gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂) que permiten y contribuyen significativamente a las alteraciones climáticas y globales del mundo (Gnansounou & Dauriat, 2005). Debido a esto se ha estado intensificando la búsqueda de nuevas tecnologías del transporte usando formas de energía que cumplan con los requisitos ambientales y económicos, desarrollando formas de energía que sean sustanciosas, sostenibles, indispensables y renovables (KUNDIYANA D.K, 2016). Una de ellas es el uso de la biomasa terrestre, por ello se ha incentivado el uso de remolacha azucarera, caña de azúcar, uvas y biomasa terrestre rica en fructosa y sacarosa, para la producción de biocombustibles, ya que tienen alto contenido de sacarosa y alcohol cuando se fermentan, para luego obtener un producto químico llamado bioetanol (Concol, 2010). Este posee propiedades de combustión similares e inclusive superan a los de la gasolina, lo cual lo hace un gran candidato para sustituirlo como combustible en motores de combustión interna convencionales ya que su combustión no representaría ninguna amenaza para la calidad de la vida de la naturaleza y el ser humano. A pesar de los esfuerzos, el afán y la preocupación de preservar el medio ambiente en el mundo ha sido toda una odisea para la industria del transporte, ya que la gran mayoría de vehículos terrestres funcionan con combustibles derivados del petróleo (Sostenible, 2019). En este escenario la importancia y uso debido de la energía debe adecuarse a nuestras necesidades como sociedad y para suprimir la demanda de energía global se necesitan combustibles renovables. Brasil se encuentra como el mayor productor de Latinoamérica y del mundo de bioetanol, derivado de la caña de azúcar. Apoyándose a sí mismo en conjunto a la expansión del mercado interno y externo. Con una producción de 27 mil millones de litros producidos de etanol para el periodo de 2013/2014 y se espera que esta cifra aumente a 65.3 mil millones de litros en el periodo de 2020/2021 que representan el 15% de la producción que corresponde a la matriz energética brasileña y mundial (ABASTECIMIENTO), 2013), por otra parte Colombia es un país que puede lograr una contribución a la reducción de las

emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y aumentar su producción del sector agrícola, a través de la cadena agro-energética de los biocombustibles. Ocurre que con la actual flota de vehículos y con la existencia actual en sus inventarios, los automotores que cuentan con la nueva tecnología es limitada, se requiere de ensambladoras, importadores, concesionarios que distribuyan y/o comercialicen en el país vehículos automotores hasta 2000 cm³ de cilindrada de encendido por chispa- ciclo Otto, estén acondicionados para que sus motores funcionen con sistema Flex–Fuel (bioetanol) E85, evidentemente, que puedan funcionar normalmente utilizando, homogéneamente, gasolina o mezclas compuestas por gasolina de origen fósil con al menos 85% de alcohol carburante (Federación colombiana de biocombustibles, 2011), el ministerio de minas determinó que dentro de 15 meses contados a partir de la publicación del decreto 1135 de 2009 (Ministerio de minas y energía , 31) en el artículo N°4 se expedirá la regulación técnica y económica, incentivará la infraestructura de la cadena de distribución de Bio-combustibles, De tal manera que se cuenten con los tanques, surtidores/dispensadores y otros aditamentos que faciliten la mezclas hasta el E85 (Ministerio de minas y energía , 31).

Delimitación

Elaboración y obtención del bioetanol para someterlo a las diferentes pruebas en el motor de encendido por chispa.

Delimitaciones.

- El horario de atención del taller de inyección y sincronización de la Universidad ECCI.
- Establecimientos que comercialicen gasolina pura y el alcohol anhidro para la generación de este biocombustible.
- La altura de la ciudad de Bogotá.
- Banco de frenado de pruebas para simular par máximo, rendimiento efectivo, presión media y potencia máxima.

Capítulo 1

1.1 Marco teórico

COMBUSTIBLES FOSILES (ENERGIAS NO-RENOVABLES) IMPLICACIONES CON EL MEDIO AMBIENTE.

Los combustibles fósiles son una fuente de energía que procede de la composición de la materia orgánica tales como animales, seres vivos, plantas y microorganismos se clasifican en tres tipos. El petróleo, el carbón y el gas natural. Estos se usan todos los días en la vida cotidiana y se denominan como; combustibles fósiles debido a que los organismos que vivieron millones de años murieron y quedaron enterrados bajo muchas capas de tierra y rocas llamada sedimento. Son combustibles porque proporcionan energía que alimenta la mayor parte de nuestras necesidades luego de ser quemados.

El petróleo es un combustible fósil que está formado a base de organismos que existieron en el océano hace millones de años. El carbón está compuesto por plantas y animales que vivían sobre la tierra, El gas natural se origina en ambos lugares océano – tierra. Todo esto tiene la particularidad de que son originados de organismos y seres vivos que habitaron y murieron hace millones de años (Teacher created Materials, 2018). A continuación en la **figura 1-1** se muestra el diagrama de ciclos energéticos que se llevan a cabo con fines de consumo de transporte e industrial.

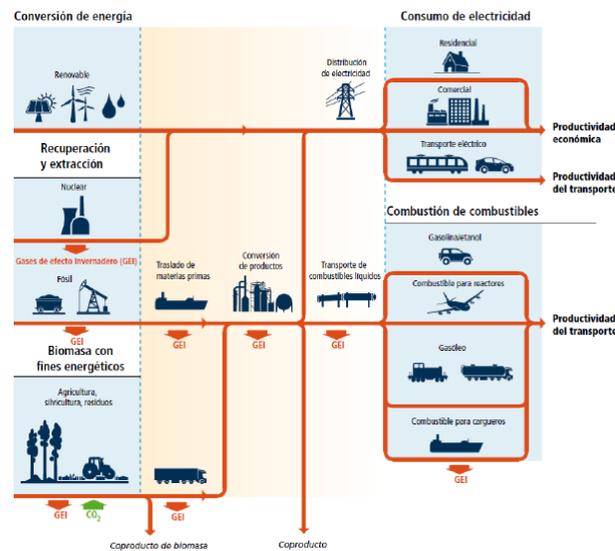


Figura 1-1: Diagrama de procesos de los combustibles fósiles dedicados al transporte (amaya, 2018)

1.1.1 Clases de combustibles fosiles en la actualidad.

Petróleo

El petróleo es una sustancia negra muy densa constituida por hidrocarburos, cuyo contenido se puede encontrar en grandes contenidos superiores de la corteza terrestre de la tierra. Este combustible fósil, una vez refinado, da una gran cantidad de productos empleados como fuente de energía, especialmente en la automoción y los motores térmicos. Entre estos productos destacan la gasolina, el diesel, el fuel, etc. También se pueden utilizar como materia prima de la industria petroquímica. (Energía Solar, 2019) (nabalia_admin, 2018).

Carbon

El carbón o carbón mineral es una solido rocoso aspero de color negro, con concentraciones altas en carbono y con cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. La mayor parte de esta fuente de energía no se regenera nuevamente en el ambiente, carbón se formó durante el período Carbonífero (hace de aprox 359 millones de años) Tanto en su extracción como en su quema se usa para obtener energía pero se genera una gran contaminación, especialmente emisión de CO₂.

Gas natural

El gas natural es una fuente de energía fósil, al igual que lo son el carbón o el petróleo. Está constituido por una mezcla de hidrocarburos, unas moléculas formadas por átomos de carbono e hidrógeno. Su poder calorífico varía mucho según su composición, pero los más elevados se encuentran entre las 8.500 y las 10.200 kilocalorías (kcal) por metro cúbico (m³) de gas. El gas natural puede transformarse directamente sin necesidad de modificar su estructura, su uso resulta muy util para generar electricidad. Esta característica le permite tener una eficiencia mucho mayor y de mayor alcance, de un 91,2%. Su almacenamiento y generacion resulta ser mas rapida, más económico y más fácil que el carbón y los derivados del petróleo. Este combustible fósil es muy utilizado en los hogares y en las industrias (nabalia_admin, 2018).

1.2 Programa energético nacional en Colombia: Representación energética local.

La proyección de demanda de energía se realiza por sectores de consumo final: Residencial, comercial, industrial, transporte y ACM (Agricultura-construcción y minería). Para la elaboración de este estudio se tomaron como datos base consumos de los años de 2010 a 2020 del Balance Energético Nacional (BEN). Dentro del estudio se tomaron datos de crecimiento de la demanda de la energía en el transporte en función del crecimiento del parque automotor y de viajes realizados más recurrentes en los principales centros urbanos del país (Unidad de planeación minero energética, 2015).

Bajo estos parámetros se elaboró la proyección de demanda de energéticos en los sectores de consumo final que se presentan a continuación en la **Figura 1-2**:

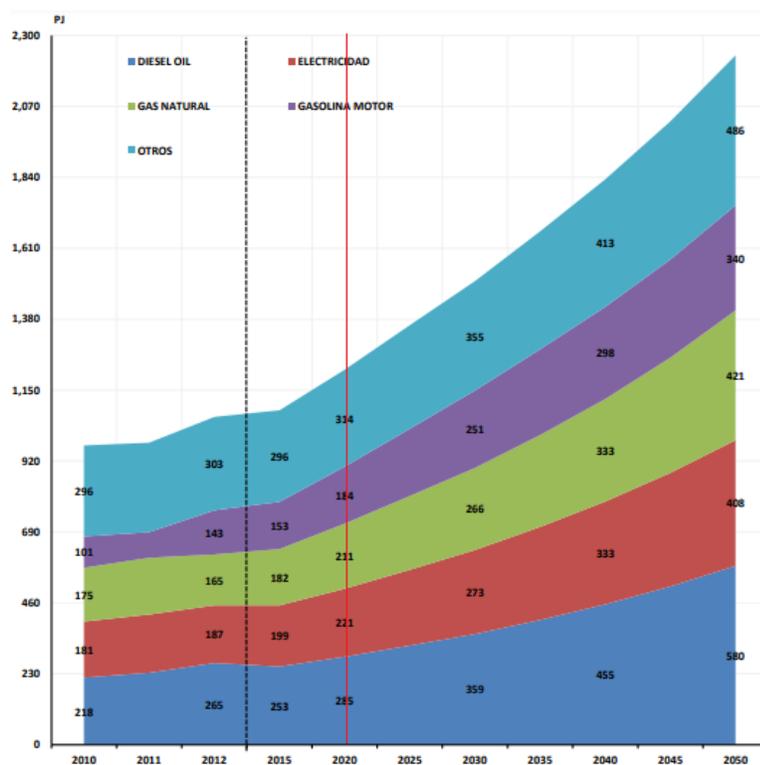


Figura 1- 2: Evolución de la demanda energética de los principales sectores estimado vs. Consumo de combustibles fósiles (PJ – Peta joules) (Unidad de planeación minero energética, 2015).

De la anterior ilustración se puede inferir que se prevé un incremento en la demanda de energéticos en 275 unidades de PJ – (Peta joules) desde 2010 hasta 2020 lo que se espera que para el año 2050 la demanda de energéticos derivados de combustibles fósiles triplique su valor respectivamente.

En la **grafica 1-3** se extraen datos que contribuyen al crecimiento al consumo y generacion de combustibles fósiles del sector de transporte con una participación de mas de 37% desde el año 2010, para el 2020 se estima que la participación de combustibles fosiles se incremente en un 44% y para el 2050 en un 70%.

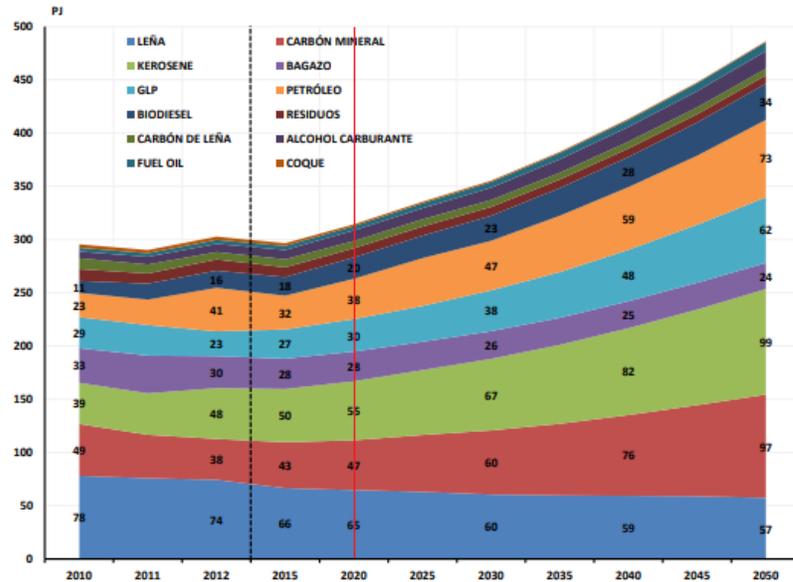


Figura 1- 3: Evolución de la demanda de consumo final por sectores vs consumo (PJ- Petajoules) (Unidad de planeacion minero energetica, 2015).

A partir de los datos presentados en las figuras anteriores, a continuación, en la **Figura 1- 4** se pueden evidenciar las participaciones de las demandas de consumo de combustible por sectores hasta el 2050.

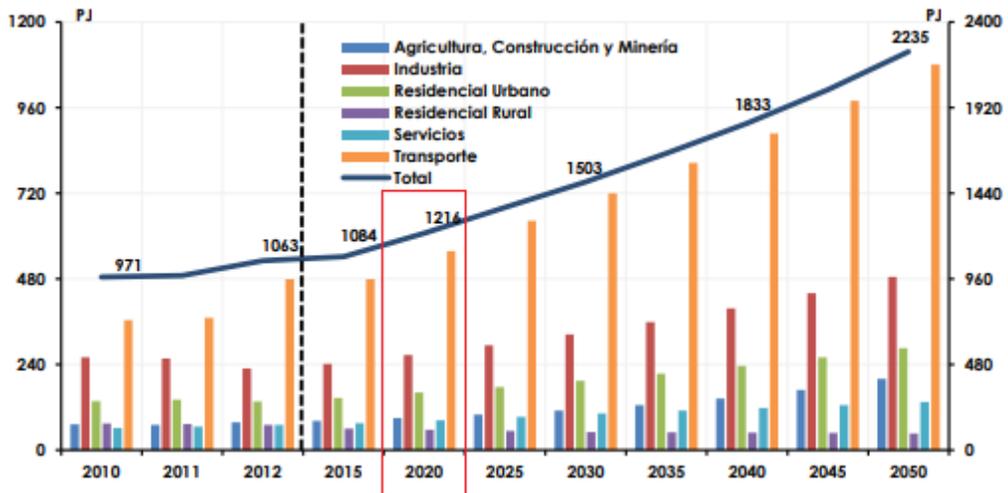


Figura 1- 4: Evolución de la demanda por sectores vs el consumo final PJ de consumo de combustibles fósiles (2050)
(Unidad de planeacion minero energetica, 2015)

De acuerdo al analisis extraido en la **Figura 1-4** se apunta que para el año 2020 el aprovechamiento de combustible fosil tendra un crecimiento exponencial especificamente en el sector de transporte hasta el 2050, presentandose como un desafio, pues la cadena de produccion de combustibles fosiles tendrá que suplir hasta en un 200% de consumo.

1.2.1 Tiempo estimado de vida para el petróleo en Colombia.

La proyección del petróleo en Colombia está disminuyendo gradualmente debido a la falta de reservas posibles y al agotamiento de las reservas existentes de acuerdo con la **Figura 1-5**, y según un estudio realizado por (Fedebiocombustibles, 2012) se estima que para el año 2035 Las reservas posibles de crudo se agotaran en Colombia

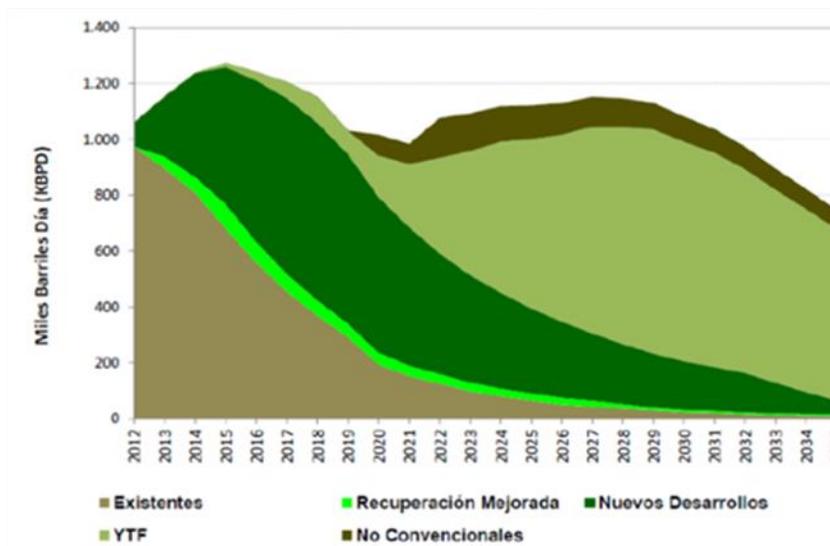


Figura 1- 5: Evolución de la demanda por sectores vs el consumo final PJ (2050) (amaya, 2018)

Como conclusión es posible afirmar que el consumo excesivo de combustible fósil sobre el territorio colombiano disminuirá gradualmente para el año 2035 pero este análisis puede cambiar debido a la demanda energética en la cual se encuentre el país.

1.2.2 Autosuficiencia petrolera sobre el territorio colombiano.

En la **Figura 1-6** La línea roja equivale al estado de la demanda petrolera del país indicando que para el año 2020 las reservas posibles de petróleo dejarán de existir estimando la demanda energética tomada hasta el año 2025.

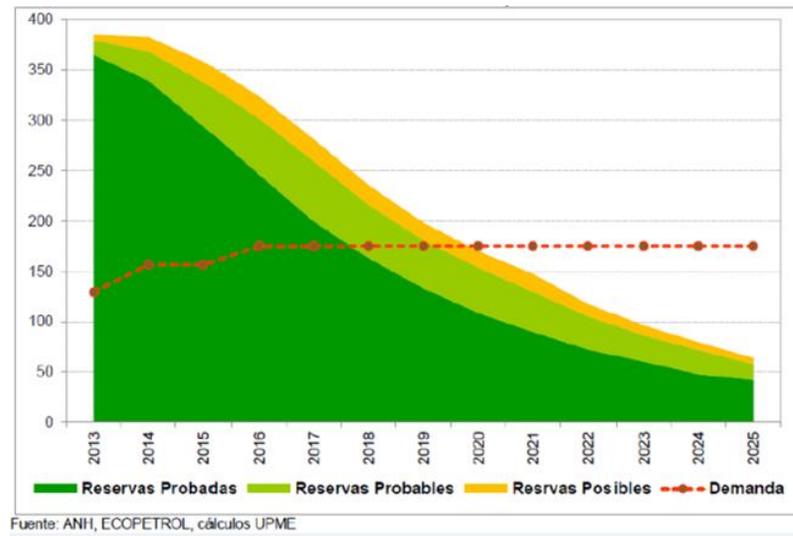


Figura 1- 6: Diagrama estimado de reservas de crudo en Colombia desde el 2013 hasta el 2025 vs las reservas estimadas. (amaya, 2018) (Ecopetrol , 2017)

1.3 El efecto de los combustibles fósiles en Colombia y el mundo.

La explotación y comercialización del denominado “oro negro” ha generado un aumento considerable de gases de efecto invernadero hasta el día de hoy (se calcula que ha aumentado un 30% más respecto al siglo XX), conllevando a grandes inestabilidades en el ecosistema, el sistema natural y humano. (oswald, 2017)

La economía y el desarrollo de los combustibles actuales se basan en la Fossil-dependencia pues la gran mayoría de países incluyendo a Colombia está sujeto al uso de la “biomasa tradicional” y carbón como principal fuente de energía para suplir las necesidades energéticas del transporte y la industria. (rinaudo, 2016)

En la actualidad aproximadamente más de 1.400 millones de personas no tienen acceso a las nuevas energías, dicho esto también es importante destacar que el consumo global de energía, aumentará por encima del 40% entre el año 2006 y 2030, haciendo especial

énfasis en las naciones desarrolladas. El 70% de la demanda energética global es consumida actualmente en las ciudades, donde la mitad del mundo vive y la cual aumentará sustancialmente para el año 2050, se prevé que más del 70% de las personas del mundo vivirán en ellas (amaya, 2018)

1.3.1 El resultado del uso de combustibles fosiles.

El excesivo uso de combustibles fosiles provoca efectos irreparables para el medio ambiente y el planeta en que habitan seres vivos incluidos el ser humano. En la actualidad existen numerosas consecuencias originadas por el uso de estos como los mostrados a continuacion (twenergy , 2019):

1. Agotamiento total de los combustibles fosiles: Al ser tipos de fuentes de energias no-renovables, Cuando se utilizan la posibilidad fisica de reposicion tardarian entre 5 a 10 escalas de tiempo humanas. Es decir, se calcula que en un año el ser humano consuma lo que la naturaleza ha tardado un millon de años en producir.
2. Cambios del efecto invernadero: Uno de los gases que permiten el efecto invernadero es el CO₂ (dióxido de carbono). La quema de combustibles fósiles provoca una mayor emisión de dióxido de carbono (se ha duplicado su concentración desde los inicios de la revolucion industrial hasta la actualidad) lo que provoca que aumente el gradiente de temperatura y el ciclo del agua se altere generando el calentamiento global y el cambio climático.
3. Lluvia acida: Cuando los combustibles fosiles se queman liberan una gran cantidad de oxidos de azufre, oxidos de nitrogeno y material particulado estos reaccionan con gases de la atmosfera, y se precipitan a la atmosfera en forma de acidos incrementando la acidificacion de agua fluvial en general.
4. Conflictos o confrontaciones sociales: Los principales yacimientos de combustibles fósiles están concentrados en lugares muy determinados y especificos del planeta, no se encuentran en abundancia ni en todos lados. El control y explotación de esos yacimientos (especialmente de crudo) es causa de conflictos, guerras y tensiones sociales que cada se pueden ver en los medios de comunicación.

La mayor parte de conflictos en los ultimos años han sido generados por el control de recursos energeticos no renovables como el petroleo, de los cuales comprenden paises en via de desarrollo como colombia.

1.3.2 Distribución de demanda de sectores con otros usos de combustibles fósiles

La demanda de etanol carburante es cubierta en un 82 % con una producción interna anual de 260-300 millones de litros al año que no garantiza satisfacer el porcentaje de mezcla E10 producido nacionalmente, determinando que para 2012 el gobierno colombiano estableció que el 60 % de los vehículos automotores nuevos de cilindraje máximo 2000 cm³ deberán ser capaces de trabajar con tecnología Flex –Fuel o si bien poder soportar mezclas de Bio-etanol/gasolina (E85) y 100% Flex (E100) cuyas modificaciones son opcionales por el fabricante, Esta ley fue establecida para el 2016. Este tipo de implementaciones tienen como visión a mediano y largo plazo medir y cumplir con la demanda energética de biocombustibles en Colombia.

1.3.3 Proyección de oxigenación de los combustibles sobre el territorio nacional

Se presume que el proceso de oxigenación de la gasolina con alcohol carburante (Bio etanol – Etanol anhidrido) no perjudica ni modifica el consumo y el funcionamiento de gasolina en lo vehículos. Se logró evidenciar que es posible una oxigenación de la gasolina Desde el 5% hasta el 10% para ello y considerando la disponibilidad de alcohol se determinó que se llega a este porcentaje progresivamente en la totalidad de la gasolina vendida legalmente en el país alcanzando el límite en el año 2009. Se incluye además la oxigenación del diésel para vehículos de tipo pesado con aceite vegetal a partir del 1 de enero de 2009 con un 5% de mezcla para todas las ventas nacionales legales. Estos porcentajes de mezcla se mantienen en el horizonte de pronóstico. (SUBDIRECCIÓN DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA GRUPO DE DEMANDA ENERGETICA, 2008)

1.3.4 Bioetanol o alcohol carburante

El alcohol carburante o bioetanol es un producto químico creado a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa con altos contenidos en sacarosa. Estos azúcares están combinados en forma de almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de

la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta. (RENOVETEC, 2013)

1.3.5 Producción de bioetanol

El bioetanol se genera a partir de la biomasa terrestre específicamente en plantas ricas en azúcares tales como: remolacha, uvas, maíz y caña de azúcar también de cereales, alcohol fermentado por medio de un proceso de destilación. (Fedebiocombustibles , 2016) En algunos países la producción industrial emplea cereal, sorgo o cebada no consumible para el ser humano como materia prima básica, con posibilidad de utilizar los excedentes de la industria remolachera transformados en jugos azucarados de bajo costo en la **Figura 1-7** Se demuestra el ciclo consumo y reintegración de la energía desde la biomasa (etanol)

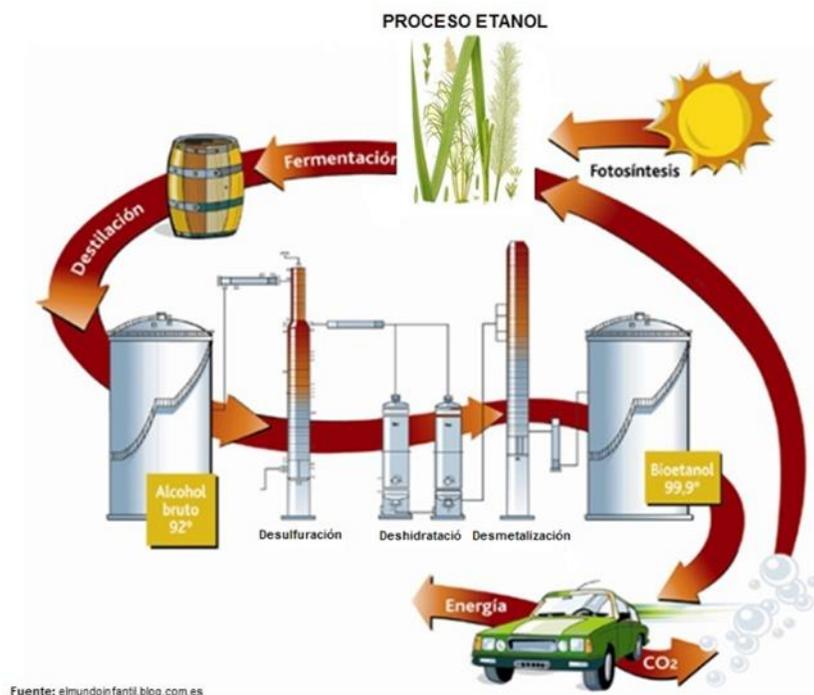


Figura 1- 7: Diagrama cíclico del consumo y reintegración de la energía desde la biomasa (Fedebiocombustibles , 2016).

Generalmente, se emplean tres clases de productos para la obtención del alcohol:

- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha altos en contenidos de sacarosa o fructosa
- Cereales, mediante la fermentación estos se convierten en azúcares o almidón.

- Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

La producción del bioetanol (maíz, caña, uvas) como se evidencia en la **Figura 1-8** comienza desde la cosecha seguido de la fermentación de la biomasa para someter el producto: el alcohol a procesos de destilación y deshidratación y luego dosificarlo a varias mezclas para su consumo

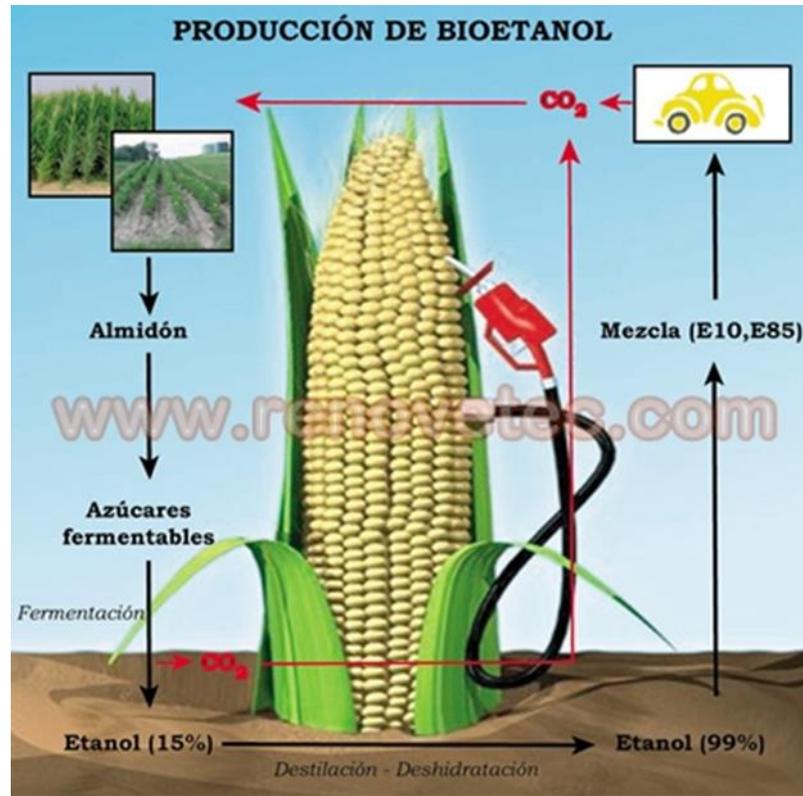


Figura 1- 8:Ciclo de producción del Bio-etanol con fines de transporte. (RENOVETEC, 2013).

1.3.6 Fabricación del bioetanol

Dilución: Es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o (en última instancia) la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria ya que la levadura, se utiliza más adelante en el proceso de fermentación, esta se debe controlar ya que se arruina debido a que posee una concentración demasiado grande del alcohol (RENOVETEC, 2013).

Conversión: La conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Se utiliza mediante el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en

la malta, o sometiendo vegetales ricos en almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida (RENOVETEC, 2013).

Fermentación: La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtienen un gran número de productos, entre ellos el alcohol (RENOVETEC, 2013).

Destilación o Deshidratación: La destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla (etanol/agua). Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada (RENOVETEC, 2013).

Es crucial que para la finalización del proceso el producto se debe someter a la deshidratación, donde se retira el agua del alcohol para luego conseguir un alcohol carburante o también llamado alcohol anhidro que significa alcohol sin agua.

1.3.7 Materias primas para la obtención del bioetanol

Colombia es un país diverso rico, grande y abundante en fauna y flora, las principales materias primas para la obtención del bioetanol se basan principalmente en la caña de azúcar como el cultivo de mayor productividad y rendimiento, pero con el cual se cubre el 75% de la demanda nacional para la producción del etanol carburante. Actualmente la demanda de etanol carburante no es suficiente para satisfacer el 10% de mezcla de gasolina con E10, Esto se debe también a que hay pocas materias primas comparables que podrían competir con la caña de azúcar relacionándola con términos económicos y productivos (Delgado, Delgado, & Perez, 2015), siendo el departamento del Valle del Cauca el único sector con infraestructura, logística y transporte que ha implementado una producción y distribución aceptable de obtención de azúcar y sus derivados a nivel nacional.

En la actualidad se puede evidenciar que resulta necesario importar el bioetanol ya que con la cantidad de materia prima la ganancia producida no resulta ser suficiente para suplir el 10% de la mezcla de gasolina con E10 y con proyecciones hacia el futuro de E20 (Fedebioenergéticos, 2016).

Entre muchos otros casos una de las posibilidades para la obtención de mayor cantidad de bioetanol está en usar la caña panelera que presenta características similares y que es

producida en la region de santander en la cuenca del rio suarez y el rio boyaca, también en los departamentosq Cordoba, Meta, Tolima, Santander, Antioquia, Sucre y cundinamarca, que su uso combinado con la caña de azucar representa 120 ton/año. Su distribucion es amplia y se puede encontrar en los departamentos del Cauca,. (Juan Mantilla, Carlos Galeano, Alejandro Muñoz, 2016).

Entre otras materias primas que se utilizan y que podrian servir para la produccion de bioetanol en colombia pueden ser; La yuca, remolacha, uvas y maiz. Pero tienen el inconveniente de que hacen parte de cultivos de uso y consumo humano y son poco tecnificados en la base economica campesina (Fedebiocombustibles , 2016) (Delgado, Delgado, & Perez, 2015).

1.3.8 Precios y estimaciones del Bioetanol vs. Gasolina

El estimado de precios de gasolina y Etanol son propensos a presentar variabilidad debido a la oferta y demanda en la cual se encuentre el mercado ver **Figura 1-9**.

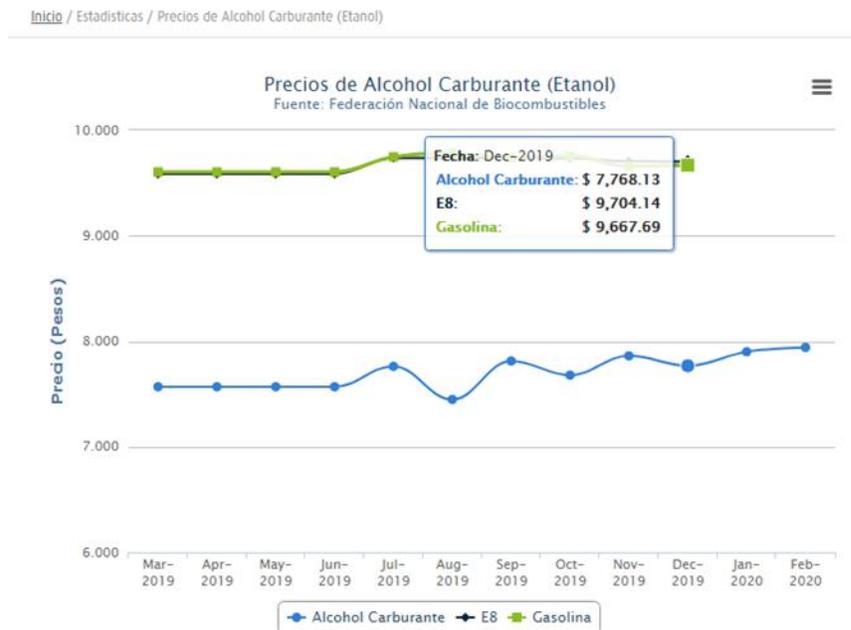


Figura 1- 9:Representación gráfica de los precios en la actualidad de la gasolina/etanol/mezcla E8 hasta el año 2020 (Fedebiocombustibles , 2016)

Este estudio permite comparar los escenarios en precio vs año para realizar un estimado del comportamiento del combustible y el bio - combustible.

1.3.9 Plantas Productoras de bioetanol en Funcionamiento sobre el territorio colombiano

Actualmente sobre el territorio colombiano existen 7 (ver **Tabla 1-5**) plantas productoras que se dedican a la fabricación de etanol con fines alimentarios, industriales y de transporte, según el mercado y/o demanda al que se comercialicen.

Tabla 1-1: Capacidad de producción de las plantas que actualmente producen de Bio – etanol como Bio-combustible. (Fedebiocombustibles , 2016).

Departamento	Capacidad Etanol (L/Día)
Incauca, miranda (Cauca)	350.000
Ingenio Rio Paila castilla (La paila – Valle del cauca)	400.000
Ingenio Risaralda, la Virginia (Risaralda)	100.000
Byoenergy, puerto López (Meta)	500.000
Ingenio providencia, Palmira, Buga – guacari (Valle del cauca)	300.000
Ingenio Mayagüez, Candelaria (Valle del cauca)	250.000
Manuelita, Palmira (Valle del cauca)	250.000
Total	2'150.000

1.3.10 Procesamiento químico de la biomasa para la producción del Bio-combustible (bioetanol).

Una biorefinería de etanol de primera y segunda generación utiliza técnicas de procesamiento de ingeniería y su fabricación es similar a la producción de gasolina, comprende métodos tales como la destilación y la deshidratación para producir etanol definiendo su grado combustible. El etanol para uso en mezclas de combustible de motor se desnaturará generalmente con 2-5% de gasolina o un hidrocarburo similar (naftas - acetilenos). El desnaturante tiene efectos mínimos sobre las características generales del etanol, excepto el punto de inflamación; La adición del desnaturante deprime gradualmente el punto de inflamación (Guías del participante módulo 3 ethanol response., 2017).

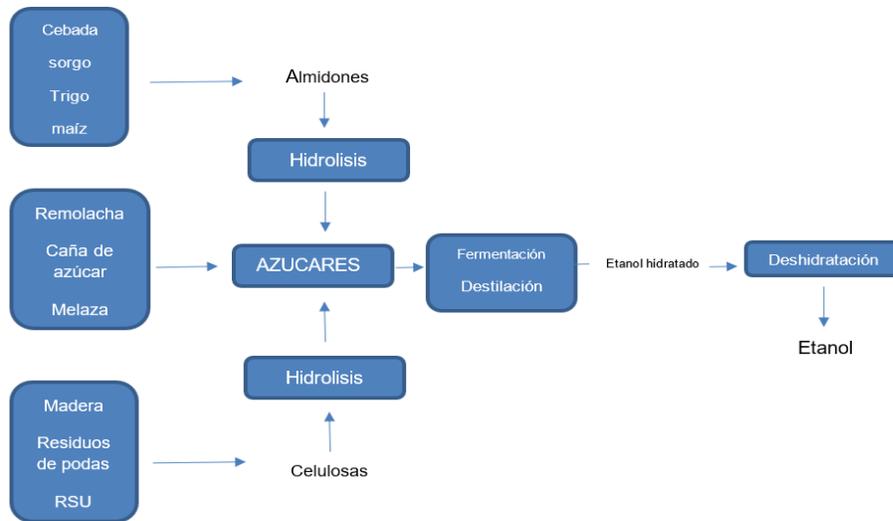


Figura 1- 10: procesamiento químico de la biomasa de diferentes tipos de origen para la fabricación de etanol (RENOVETEC, 2013).

Desnaturalización del bioetanol

El combustible de etanol desnaturalizado es un disolvente polar, que es soluble en agua. Un disolvente polar es un compuesto con una separación de carga en los enlaces químicos, tal como alcohol, la mayoría de los ácidos, o el amoníaco. Éstos tienen afinidad con el agua y se disolverán fácilmente. El etanol de combustible desnaturalizado tiene un punto de inflamación de $-5\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-20,55\text{ }^{\circ}\text{C}$) y una densidad de vapor de 1,5, lo que indica que es más pesado que el aire, en consecuencia, los vapores de etanol no suben debido a que son más pesados que el aire, similar a los vapores de la gasolina que buscan altitudes más bajas. (Abramova, 2009) La gravedad específica del etanol de combustible desnaturalizado es 0,79, lo que indica que es más ligera que el agua y tiene una temperatura de auto ignición de $709\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($376,11\text{ }^{\circ}\text{C}$) y un punto de ebullición de $165\text{-}175\text{ }^{\circ}\text{F}$. ($73,88\text{ - }79,44\text{ }^{\circ}\text{C}$) Al igual que la gasolina, es un combustible más desnaturalizado. El propósito principal de la desnaturalización es lograr que el etanol no apto para el consumo, peligroso y con sabor desagradable sirva para el consumo humano recreativo o con otros propósitos no autorizados, regularmente la desnaturalización hace que el producto este exento de impuestos o gravámenes, lo que lo hace más barato. (Fisher scientific , 2021) El mayor peligro del etanol como componente de combustible del motor es su inflamabilidad. Tiene un rango inflamable más amplio que la gasolina (LEL es 3% y UEL es 19%). (Guías del participante modulo 3 ethanol response., 2017)

1.3.11 Propiedades Químicas específicas de la gasolina y el etanol

La densidad y el poder calorífico son propiedades muy importantes pues sirven para determinar el trabajo, potencia, rendimiento y consumo de la gasolina/etanol. A continuación, en la siguiente **Tabla 1-2** Se exponen las propiedades químicas del Bio-etanol y la gasolina.

Tabla 1-2: Tabla de propiedades química de la gasolina y el Bio-etanol. (Chile, 2017)

	Gasolina	Bioetanol	Unidades
Densidad	0,680	0,789	Kg/ltr @15°C
Poder Calorifico	43000	28000	KJ/Kg

1.3.12 Cuadro de comparacion Bioetanol desnaturalizado-gasolina

Para poder usar el Bio-etanol en los Motores de combustión se debe dosificar y desnaturalizar cuidadosamente debido a las propiedades químicas ya que el etanol es un alcohol, se debe retirar el agua en su totalidad pues el agua puede afectar el trabajo interno del motor como se puede observar en la **Tabla 1-3**.

Tabla 1-3: Propiedades químicas fundamentales de la gasolina pura con respecto al etanol desnaturalizado Fuente// (Guías del participante modulo 3 ethanol response., 2017)

Propiedad	Gasolina	Etanol desnaturalizado
Punto de inflamacion	-42,77 °C	-20,55 °C
Temp de auto ignicion	276,66 – 456,22 °C	376,11 °C
Gravedad especifica	0.72 – 0.76	0.79
Densidad de vapor	3 – 4	1.5
Presion de vapor	8 -15 psi	3 psi
Punto de ebullicion	37,77 – 204,44 °C	73,88 – 79,44 °C
Rango de inflamabilidad	1,4% - 7,6%	3% - 19%
Características del humo	Negro	Blanco
Solubilidad	Trazas	Alta

1.3.13 Plantas productoras de bioetanol como combustible.

En la actualidad varios ingenios específicamente en la region del Valle del Cauca, existen productores de al menos el 90% del bioetanol y el transporte se basa a través en carro tanques hasta los puntos de atención de distribuidores mayoristas ubicados en diversas regiones donde se oxigena la mezcla de gasolina antes de ser enviada a diferentes estaciones de servicios. (Juan Mantilla, Carlos Galeano, Alejandro Muñoz, 2016) (Revista

motor , 2017) Varios avances han surgido entre ellos el desarrollo de bioenergy, uno de los mayores complejos de producción de Bioetanol en Colombia. Una planta llamada “El Alcaravan” ubicada en Puerto Lopez – Meta produce mas de 800.000 litros de etanol carburante al mes. (Ecopetrol , 2017). Se inicio la fase de comercializacion de bioetanol por parte de empresas como Bioenergy, con fines comerciales para la venta de etanol carburante destinado para abastecer la región central del país mediante el cual se producen cerca de 109.100 litros de Bioetanol al dia, esta planta tiene la capacidad de producir hasta 504.000 Litros diarios de etanol al dia, en plena producción se estima que puede aportar hasta el 25% del etanol producido en Colombia y en terminos regionales represente mas del 30% de la produccion en el departamento del Meta. Ingenios como incauca, miranda del valle del cauca pueden producir 350.000 Litros al dia.

(Fedebiocombustibles , 2016).

En la actualidad plantas como Rio paila castilla, La paila (Valle del cauca) produce 400.000 Litros al dia, en providencia, palmira (valle de cauca) respectivamente 300.000 Litros al dia. En mayaguez, candelaria (valle del cauca) 250.000 Litros al dia. Y en manuelita, palmira se producen alrededor de 250.000 Litros al dia. En total la capacidad instalada es capaz de producir 2.150.000 Litros de Bioetanol al dia. Ver. **Tabla 1-1:** Capacidad de producción de las plantas que actualmente producen de Bio – etanol como Bio-combustible. .

Regiones que poseen destilerias notables de etanol Datos obtenidos de. (Fedebiocombustibles , 2016) (Federacion colombiana de biocombustibles, 2011)

- Altiplano cundiboyacense
- La hoya del Río Suárez en los departamentos de Boyacá y Santander.6
- El Valle del Cauca.
- El departamento del Cesar.
- El departamento del Huila.
- El Eje Cafetero.
- La zona de Vegachí en Antioquia.
- Villeta y Sasaima en Cundinamarca
- Los Llanos Orientales.
- Los Departamentos de Nariño y Putumayo.
- Pereira, Risaralda.

1.3.14 Ventajas y desventajas del bioetanol.

Ventajas

- Reduccion de huella de carbono.
- La emisiones generadas reduciran significativamente los gases nocivos para los seres vivos.
- Al ser una fuente de energia renovable puede reintegrarse en el medio ambiente en tiempos de escala de vida humanos.
- La producción de biocombustibles de segunda generacion se intensificará como medida de contingencia para combatir el efecto invernadero.
- Generara empleo en el campo, La agroindustria y el sector de transporte
- Implementacion de nuevas tecnologias de desarrollo en colombia tales como el Flex-fuel en vehiculos livianos para produccion en masa.

Desventajas

- Se debe intensificar los agro cultivos de biocombustibles que no alimenten al ser humano y aprovechar la segunda y tercera generación de biocombustibles. Problemas internos en la duracion y vida util de elastomeros en el motor de combustion interna.
- La producción y el costo procesamiento es alto, doblando al de la gasolina
- Demanda de uso de pesticidas y control de plagas.
- Precio y consumo mas elevados que los combustibles fósiles.

2. Capítulo 2

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Datos y fichas técnicas del motor Chevrolet Aveo 1.600

Información general

A continuación, en la **Figura 2-1** Se evidencia el motor utilizado en esta investigación.



Figura 2- 1: Motor (E-TEC II 1.6 16V/1.4 16V DOHC (98/103HP) fuente//:autor.

2.1.2 Datos técnicos

El Chevrolet Aveo 2007 viene equipado con un motor E-TEC II de 16 valvulas, Este vehículo pertenece al segmento B en sus prestaciones de hatchback y sedan.

Tabla 2-1: Ficha técnica del motor Aveo.

Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo
Generación	Aveo sedan – HB – Coupe
Motor (Potencia)	1.599 Cm ³ - 16v (94 – 114 HP)
Configuración	Motor transversal – Tracción Delantera
Año de inicio producción	2003
Tipo carrocería	Berlina
Número de plazas	5
Numero de puertas	4
Segmento	B
Altura	1495 mm

Tipo de combustible	Gasolina
Velocidad máxima	175 – 180 km/h

2.1.3 Motorización

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del motor.

Potencia máxima	106 CV @ 5800 rpm
Par máximo	147 Nm @ 3600-rpm – 106.95 Lb.-ft @3600 rpm.
Cilindrada Real	1598 cm ³
Numero de cilindros	4
Distribución de cilindros	En línea
Diámetro de cilindro	79 mm – 3,11 in
Carrera de cilindro	81.5 mm – 3,21 in
Relación de compresión (Gasolina)	9,5 :1
Relación de compresión (etanol)	10:1
Válvulas por cilindro	4
Sistema de inyección	Inyección indirecta multipunto
Distribución	DOHC
Capacidad del depósito del combustible	45l – 11,89 Galones

2.1.4 Sistema de Inyección y Sensórica del Chevrolet Aveo 1.600

Componentes de entrada

Son elementos que están conectados electrónicamente por un conjunto de sensores y que a su vez permiten que el correcto funcionamiento del motor obedeciendo un rango y continuidad de un circuito. Incluyendo las funciones determinadas del sensor cuando falle y/o pierda la señal del sensor de formas no razonables, Los componentes de entrada pueden incluir funciones lógicas y están comprendidos bajo los siguientes sensores.

- Sensor de velocidad de vehículo (SVV).
- Sensor de posición del cigüeñal (CKP).
- Sensor de posición del acelerador (TPS)
- Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT)
- Sensor de posición del árbol de levas (CMP).
- Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)
- Sensor de oxígeno – sonda lambda
- Sensor de golpeteo (KS)

2.1.5 Componentes de salida - Actuadores

Los componentes de salida y los actuadores se comprenden bajo la lectura de los módulos de control. Son suplementarios pero muy importantes para el correcto funcionamiento. Su lectura es vital para identificar la continuidad del circuito y los valores fuera de rango si este aplica. (Aveo, 2008) Los componentes de salida incluyen:

- Control de aire en ralentí (IAC)
- Válvula de purga del depósito EVAP Controlada por la unidad de control.
- Relevadores de A/C
- Relevador del ventilador de enfriamiento
- Inyectores
- Bujías
- Salida de VSS
- Válvula de recirculación de gases de escape (EGR)

2.1.6 Parámetros de ignición

El ciclo de comportamiento en el arranque en frío debe alcanzar una temperatura mínima de 22°C (72°F) y estar por al menos a 70°C (160°C) A lo largo del diagnóstico del comportamiento.

Para realizar el análisis de emisiones preciso el motor debe alcanzar una temperatura de 110 °C y el catalizador debe alcanzar una temperatura mínima de 250 °C

2.1.7 Sistema de ignición.

El sistema de ignición del Chevrolet Aveo usa un sistema electrónico de encendido por chispa perdida, En este caso 1 bobina controla el cilindro 1 y 4 y la 2 bobina controla el cilindro 2 y 3.

Tabla 2-3: Estándar de ignición usado en el sistema de encendido del Chevrolet Aveo (Aveo, 2008).

	Métrico	Ingles
Tipo de ignición	SISTEMA DE IGNICION DIRECTA	
Regulación de la ignición (BTDC)	4°	
Secuencia de ignición	1-3-4-2	
Claro de bujía	1.0 - 1.1 mm	0.039 - 0.043 in
Fabricante de bujía	woojin	
Tipo de bujía	BKR6E – 11	

Parámetros del sistema de ignición

- Motor 4 cilindros en línea, DOHC (Double over head Camshaft) con una cilindrada real de 1598 cm³
- Sistema de ignición electrónico por chispa perdida de 4 tiempos controlado por 2 bobinas, 1 para cada 2 cilindros y el primario del sistema de encendido electrónico.
- Inyección de combustible multipunto, controlada electrónicamente de marca Delphi.

- Potencia: 103 HP a 6000 RPM y un torque Max de 147 Nm a 3600 RPM (Aveo, 2008).

2.2 Componentes del motor

2.2.1 Sistema de control electrónico del motor

Unidad de Control Electrónico (ECU):

Su función es calcular una duración y dosificación óptima de la inyección de combustible ingresado desde la bomba de combustible y basándose en señales procedentes de los diferentes sensores para darle orden a los actuadores algunos de estos controlados por fusibles y relés. La unidad de control electrónico define parámetros en los cuales el motor pueda soportar determinadas cargas de fuerza y completarlas bajo parámetros de trabajo más eficientes.

2.3 Sistema de inyección - sensores

La señal procedente de la ECU del motor produce que la corriente fluya Hasta la bobina de solenoide del inyector, lo que produce que se tire del émbolo y se abra la válvula para inyectar el combustible. La ECU define el tiempo de dosado por inyección y regula la presión del combustible. La válvula se abre debido a que la carrera del émbolo no cambia y la cantidad de la inyección de combustible se controla en el momento que la corriente fluye hacia el solenoide (Company, 2003).

Sistema KS (knock sensor)

Descripción del sensor:

El sistema funciona con un sensor de golpe (KS) comprendido con 2 cables. El sensor usa tecnología de cristal piezoeléctrico que produce un voltaje AC de amplitud diversa y frecuencia basada en el movimiento del motor y/o nivel de ruido.

La amplitud y frecuencia dependen del nivel de golpe que detecte. Es decir, El KS está conectado a la ECU por un circuito de baja referencia y un circuito de señal. Ambos circuitos están protegidos de interferencia electromagnética por medio de un circuito de tierra protector que en ocasiones se incluye la protección IP. El circuito de tierra en este

caso está conectado a tierra a través de la ECU en la **Figura 2-2** Se puede observar un sensor KS.



Figura 2- 2:Sensor de golpeteo (Knock sensor) Usado en el motor Chevrolet Aveo

Propósito:

El sistema usa un sensor de golpeteo (KS) “Knock Sensor” que emite una señal y habilita el módulo de la unidad de control electrónico (ECU). Para posteriormente controlar la regulación de la ignición y el mejor funcionamiento posible mientras protege el motor de niveles de detonación potencialmente elevados y dañinos. La ECU usa el sistema KS para monitorear si existen ruidos del motor fuera de lo normal que pudieran indicar que es un problema de detonación, más conocido como el golpe de chispa (Aveo, 2008).

Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Detecta el ángulo del cigüeñal y la velocidad del motor (Company, 2003). Es un sensor inductivo generado por un imán permanente. Este sensor produce un voltaje AC de frecuencia y amplitud variable. La frecuencia depende de la velocidad del cigüeñal. La salida de AC depende de la posición del cigüeñal y el voltaje de la batería En la **Figura 2-3** Se puede observar un sensor KS conectado a una rueda reluctora de cigüeñal.

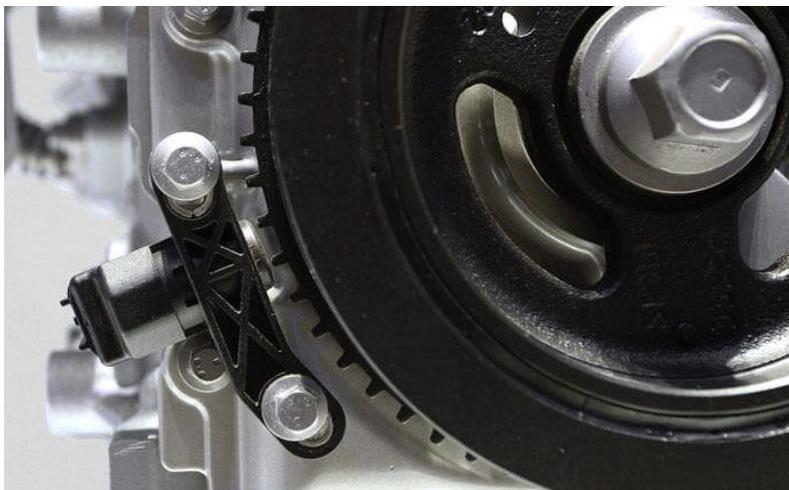


Figura 2- 3: Demostración de un modelo de sensor CKP usado en el motor Chevrolet Aveo.

El sensor CKP funciona en conjunto a la rueda reluctora de 58 dientes que interconecta al sensor. Este sensor se activa mientras cada diente de la rueda reluctora gira, se genera un campo magnético y crea un pulso de encendido/apagado justamente por 58 veces. Este proceso es muy vital para que la ECU Permita la regulación de ignición de combustible desde los inyectores y el golpe de chispa (Aveo, 2008).

Sensor de posición de levas (CMP)

Este sensor es un sensor de efecto hall, en pocas palabras detecta el campo magnético para saber en qué posición se encuentra cada árbol de levas. La señal del CMP Es un pulso de ENCENDIDO/APAGADO digital. Esta señal de información la usa la ECU para determinar la posición de los árboles de levas simultáneamente con la posición del cigüeñal (Aveo, 2008). Cuando se sincronizan, le permiten a la ECU calcular el modo de inyección de combustible y su secuencia en tiempo real En la **Figura 2-4** se puede observar el sensor CMP.



Figura 2- 4: Sensor de posición de levas de 3 circuitos (Autoavance, 2018).

Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)

Este sensor tiene como función medir la presión de aire que entra hacia el múltiple de admisión del motor (Codigos DTC , 2020) y permite calcular la cantidad de combustible necesaria para su correcta ignición. El sensor envía señales en milésimas de segundos hacia la ECU y esto determina el tiempo de encendido y la inyección de gasolina en la **Figura 2-5**, se puede identificar un sensor MAP en el múltiple de admisión de un Chevrolet Aveo 1.6L.



Figura 2- 5:Sensor de presión absoluta del múltiple de 3 cables fuente//. (Codigos DTC , 2020).

Resulta muy importante en el sistema de inyección ya que controla también las emisiones que genera el vehículo y las detonaciones del motor, el sensor trabaja entre 25 kPa y 99.7 kPa (Aveo, 2008).

Sensor de posición del acelerador (TPS)

Este sensor también es conocido como Throttle Position Sensor, Se encarga de verificar la posición de aceleración que se encuentra justo a la entrada del motor del vehículo. Por lo tanto, este sensor se activa cuando se acciona el pedal del acelerador del vehículo para incrementar las revoluciones (Codigos DTC , 2020). El Sensor TPS es un pequeño transmisor que controla la inyección de combustible mediante una señal que se envía a la ECU. Al abrirse la mariposa, se permite la entrada del aire al motor y esta acción es posible gracias a una guaya accionada por el acelerador o pedal en la **Figura 2-6** Es posible evidenciar el sensor TPS del Chevrolet Aveo 1.6L.

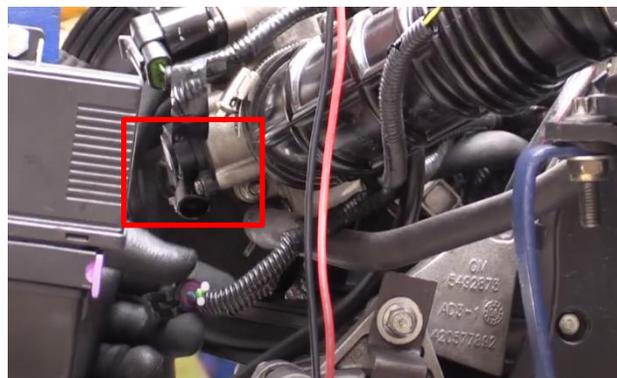


Figura 2- 6:Sensor de posición usado en el motor Chevrolet aveo 1.6 (Universidad ECCI, 2020)

El TPS es un sensor de potencia variable que registra el voltaje de alimentación debe registrar 5 voltios. Para funcionar, utiliza una resistencia y una escobilla móvil. El voltaje varía según la posición del eje y la resistencia (Aveo, 2008). Las funciones específicas de este sensor son: Informar a la computadora la posición del acelerador para que esta dosifique el pulso de inyección de combustible, controle el actuador de marcha mínima IAC y el actuador del sistema de cánister. (Codigos DTC , 2020) (Universidad ECCI, 2020).

Sensor IAT (Intake Air Temperature)

El Sensor de temperatura de admisión de aire funciona para medir las condiciones iniciales del ambiente y del motor temperatura del motor, para comprobar su correcto funcionamiento se mide de acuerdo con sus parámetros iniciales y se procede a realizar mediante un multímetro en función de ohmios. Ya cuando el sensor se somete a temperaturas el valor de la resistencia tiende a disminuir En la **Figura 2-7** se logra visualizar el sensor IAT del motor Chevrolet Aveo.



Figura 2- 7: Sensor IAT ubicado en el inicio de la admisión del motor Chevrolet aveo fuente//. (Universidad ECCI, 2020).

Además, para comprobar el correcto funcionamiento es vital realizar mediciones de voltaje de alimentación con el switch en ON y verificar que arroje valores típicos 5v. (Universidad ECCI, 2020)

Sensor ECT (Engine coolant thermistor)

Este sensor se encuentra ubicado en la parte central del motor (Aveo, 2008), en algunos motores es muy común encontrarlo cerca al termostato del motor en la parte frontal del motor. Para verificar su correcto funcionamiento se debe verificar los valores de resistencia del sensor en temperatura fría y temperatura de trabajo aprox. 95 °C en la **Figura 2-8** Es posible encontrar el ECT para el Chevrolet aveo 1.6L

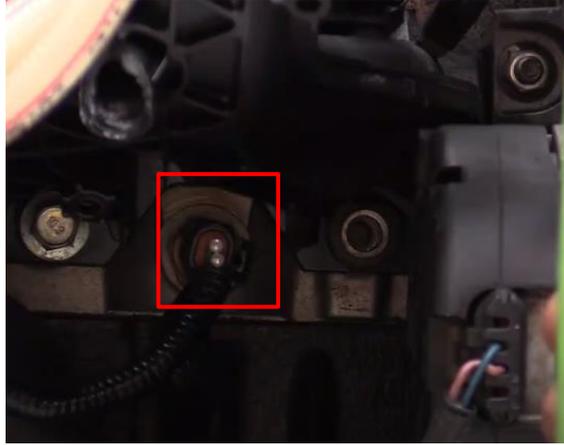


Figura 2- 8: Sensor ECT ubicado en la parte central del bloque motor Chevrolet Aveo 1.6 fuente//. (Universidad ECCI, 2020)

2.3.1 Sensor de oxígeno (LAMBDA)

Este sensor contribuye a controlar las emisiones del motor, está fabricado de un componente electrónico censado y se compone de un elemento metálico rígido unido a un cilindro fabricado con un elemento llamado circonio y revestido en cerámica para que pueda resistir la temperatura (Codigos DTC , 2020) en la **Figura 2-9** Se puede evidenciar el sensor de oxígeno usado en el Chevrolet aveo 1.6L.



Figura 2-9: Sensor de oxígeno usado en el Chevrolet Aveo 1.6 de dos cables (Aveo, 2008)

El sensor de oxígeno comienza a funcionar poco después de que el motor se encienda justamente cuando haya alcanzado la temperatura de operación a partir de la reacción química generada entre el oxígeno que sale del escape. Esta reacción genera un voltaje según la cantidad de oxígeno que sale por el escape e inmediatamente el sensor le envía una señal a la ECU de la cantidad de este gas que expulsa el motor sobre la marcha. Su fin es establecer un consumo eficiente y liberar la menor cantidad de gases tóxicos como

el monóxido de carbono CO y el combustible en forma de vapor hacia el ambiente (Aveo, 2008).

ACTUADORES

Inyector

El inyector es un actuador que se encarga de insertar combustible y dosificarlo en gotículas en las lumbreras o toberas de admisión de los cilindros con la información obtenida de las señales de la ECU del motor en la **Figura 2-10** se puede observar las partes que conforman el inyector usado en el Chevrolet aveo.



Figura 2- 10:Inyector electrónico usado en el motor Chevrolet aveo Fuente//: (Company, 2003).

Solenoides de marcha mínima IAC (Intake air Controller)

Este solenoide se puede encontrar en conjunto con el Sensor TPS, El solenoide funciona por medio de unas bobinas de inducción que trabajan por dos posicionamientos. Una para Altas RPM y la otra para Bajas RPM, con una apertura mínima en el control de marcha mínima IAC permite mejores controles en situaciones como; bajadas de pendientes en la **Figura 2-11** Se logra evidenciar el sensor IAC del Chevrolet aveo 1.6L.

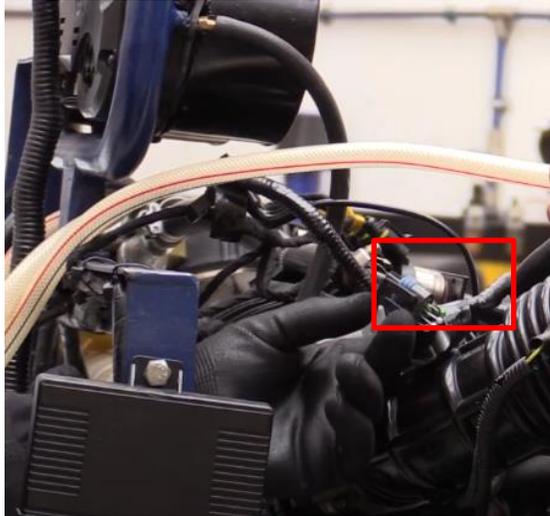


Figura 2- 11:Representación del solenoide de marcha mínima IAC de tres cables por el ETC (Electronic throttle Controller) (Universidad ECCI, 2020).

Para verificar el correcto funcionamiento del solenoide se procede a realizar la medición desde un multímetro y revisar que en cada paquete de bobinas registre aproximadamente (50.5Ω). Para cada una, además se miden los voltajes de alimentación correspondientes y con el multímetro en VDC con la abertura del switch, con el valor arrojado correspondiente 10.32 V o similar al de la batería de alimentación este procedimiento se debe realizar para corroborar las óptimas condiciones del solenoide (Universidad ECCI, 2020).

2.4 Desempeño técnico y cálculos prácticos del motor Aveo 1.6

Para conocer el desempeño del motor se realizó un estudio teórico en donde se calculan variables como: presión media, potencia indicada, potencia efectiva, rendimiento indicado, relación de compresión motor. De acuerdo con valores conocidos como en los mostrados en la **Tabla 2-4** se pueden obtener estos resultados.

Tabla 2- 4:Especificaciones técnicas de motor Chevrolet Aveo 1.6L.

Tipo	Motor
Nº Cilindros	4L (4 línea)
Diámetro x Carrera	77,9 x 81,5 mm

Potencia total	110 hp @ 6400 rpm
Torque	147 N.m @3600 rpm

Fuente: // (Aveo, 2008), (Universidad ECCI, 2020)

Diámetro del cilindro

Es el diámetro del cilindro comprendido entre el bloque del motor (Ecuación 2.1)

$$\phi = 77.9 \text{ mm} = 7.79 \text{ cm}$$

$$r = \phi / 2 \tag{2.1}$$

$$r = 7.79 \frac{\text{cm}}{2} = 3.895 \text{ cm}$$

Carrera

Distancia total recorrida por el extremo superior del embolo (pistón) al moverse a las posiciones extremas PMI y PMS. (rodrigo, 2008)

$$C = 81,5 \text{ mm} = 8,15 \text{ cm}$$

Volumen unitario – (Vu)

Definido por el espacio total entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior en un cilindro del motor (Ecuación 2.2)

$$Vu = \pi \times r^2 \times C \tag{2.2}$$

$$Vu = \pi \times (3.895)^2 \times 8.15 = 388.44 \text{ cm}^3$$

Volumen total - (Vci total)

Resulta ser el volumen unitario multiplicado por el número de cilindros en el motor (Ecuación 2. 3)

$$V_{\text{cil Total}} = Vu \times N^{\circ} \text{cilindros} \tag{2.3}$$

$$V_{\text{cil Total}} = 388.44 \times 4 = 1553.76 \text{ cm}^3$$

Presión media - (Pm)

Es el grado de explosión de la cilindrada del motor. En esta ocasión se evaluará el grado teórico de explosión con combustible.

$P_{\text{mgasol}} = 13,77 \text{ bar manual Valor encontrado mediante el analisis termodinamico}$

Potencia indicada – (P_i)

La potencia indicada puede ser calculada desde el ciclo indicado cuya área representa el trabajo realizado por el gas en el interior de un cilindro durante un ciclo. (rodrigo, 2008) (Ecuación 2.4)

$$P_i = V_h \times P_m \times rpm/1200 \quad (2.4)$$

$$P_{\text{gasol}} = 1599,50 \times 13,77 \times \frac{6000}{1200} = 110,086 \text{ kW}$$

Rendimiento mecánico - η .

El rendimiento mecánico se calcula conociendo la potencia indicada (P_i) y el valor de la potencia efectiva (P_e). Que es un índice de la importancia de la pérdida de la potencia debido a la resistencia mecánica (rodrigo, 2008)

El valor de la resistencia mecánica total o torque máximo esta entre 0.8 y 0.9% (rodrigo, 2008) (Ecuación 2.5)

$$\eta = \left(\frac{P_e}{P_i} \right) \times (100) \quad (2.5)$$

$$\left(\eta = \left(\frac{76,81}{110,086} \right) \times (100) = 76\% \right)$$

Cálculo de rendimiento indicado – η_i .

Para calcular el rendimiento indicado se relaciona el área del ciclo indicado y el área del ciclo ideal. (rodrigo, 2008) (Ecuación 2.6)

Para el motor de combustión interna a gasolina $Q_{in} = E_n$ en (kJ/kg) y para los motores a gasolina el valor es de 43800kJ/kg.

$$\eta_i = P_i / (B \times Q_{in}) \times 100 \quad (2.6)$$

$$\eta_{\text{gasol}} = \left[110,086 \text{ kW} / \left(\frac{0,0081 \text{ gr}}{s} \times 43800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \right] \times 100 = 31\%$$

Cálculo del rendimiento efectuado – η_e .

Es la relación entre el trabajo útil desde el eje del motor y el equivalente arrojado de la energía calorífica obtenida del combustible consumido, que resulta ser el producto del rendimiento termodinámico por el rendimiento mecánico (rodrigo, 2008) (Ecuación 2.7)

$$\eta_e = \eta_m \times \eta_i \quad (2.7)$$

$$\eta_e = 76\% \times 31\% \times 100\% = 2.356\%$$

Cálculo de la relación de compresión

Se calcula mediante la muestra de partes de muestras de combustibles mezclados por partes de aire.

$$\text{Relacion de compresion} = 9,5:1 \text{ Gasolina}$$

3. Capítulo 3

3.1 Marco legal

Las leyes que se involucran en este proyecto son normas reguladas dentro del ministerio de minas y energía, ministerio de ambiente a continuación se nombrarán y referenciarán cada una de las normas:

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Decreto Número 1135 de marzo 2009

Artículo N°1 A partir del 1° de enero del año 2012 los vehículos automotores hasta 2000 cm³ de cilindrada que se fabriquen, ensamblen, importen, distribuyan y comercialicen en el país y que requieran para su funcionamiento gasolinas, deberán estar acondicionados para que sus motores funcionen con sistema Flex-fuel (E85), es decir, que puedan funcionar normalmente utilizando indistintamente gasolinas básicas o mezclas compuestas por gasolina básica de origen fósil con al menos 85% de alcohol carburante.

Artículo N°2 La mezcla actual de gasolina oxigenada se mantendrá en E10 para los vehículos automotores de modelos anteriores a 2012 que requieran gasolinas para su

funcionamiento, salvo que evaluaciones técnicas permitan determinar el uso de otro porcentaje de mezclas o la homologación de paquetes de conversión a los niveles E-85.

Decreto Número 2604 de diciembre 2009 Artículo N°5 Combustibles limpios y Biocombustibles. Aprobación de mezclas de gasolina con alcohol carburante o etanol anhidro desnaturalizado siempre y cuando la mezcla no supere los 50 ppm de azufre.

Artículo N°7 Límites máximos de emisiones permisibles para vehículos livianos y medianos con motor ciclo Otto.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC – 4983)

Calidad del Aire. Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación

Norma de Emisiones Resolución (910 de 2008)

Límites máximos de emisiones permisibles para vehículos accionados por gasolina (4 tiempos), en condiciones de marcha mínima o ralentí.

4. Capítulo 4

4.1 Diseño metodológico

4.1.1 Revisión y funcionamiento del M.C.I - Iniciales

El método experimental consiste en revisar el funcionamiento interno del motor y así verificar que se encuentre en un estado óptimo, se comprobó inicialmente. el régimen de compresión, pruebas de fugas y pruebas de vacío. (fonseca medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio, 2012)

4.1.2 Prueba de compresión

La prueba de compresión se realizó con el motor funcionando a temperatura de operación (95°C) justo después de que el moto-ventilador realizara el ciclo de refrigeración. Se procedió a retirar las bujías y se desconectó el primario del sistema de encendido.

Una vez conectado el compresómetro 5606, (Ver **Figura 4-1**) en los orificios de las bujías se da encendido al motor por 5 s. hasta obtener los saltos de compresómetro tres veces aprox. hasta que llegue a un valor máximo.

Resultados: Un conjunto cilindro-cámara de combustión está en buenas condiciones si alcanza en la primera carrera de pistón, el 70 por ciento del valor máximo de la compresión indicada por el fabricante.

Si la lectura en la primera carrera es baja y se eleva en las demás, la causa puede ser atribuida al desgaste de los anillos del pistón o del cilindro.

Si todas las lecturas del medidor de compresión en un cilindro son bajas, usualmente es indicativo de una válvula con fuga o desgaste del conjunto cilindro- anillos de pistón.

La baja compresión en dos cilindros adyacentes puede indicar que el empaque de la culata está defectuoso (fonseca medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio, 2012).



Figura 4- 1: kit de testeo de compresión 5606 junto a 3 acoples y 3 mangueras adaptables de prueba.

Los datos registrados durante la prueba de compresión se muestran en la **Tabla 4-1**.

Tabla 4- 1: Datos de compresión registrados en psi de las pruebas realizadas.

PRUEBA DE COMPRESION (PSI)			
Fecha	11/05/21		
# De cilindro	1 SALTO	2 SALTO	TOTAL
1	75	108	91.5
2	80	110	95
3	80	105	92.5
4	80	109	94.5

A continuación, en la **Figura 4-2** se muestran los resultados del cilindro N°1 obtenidos durante las pruebas

Cilindro 1



a)



b)

Figura 4- 2: Lectura del primer salto de la compresión del primer cilindro a), b) segundo salto de compresión.

Resultados de la prueba de compresión. El motor presenta compresión regular en sus cilindros, los datos de compresión indican que el motor aún conserva vida útil en sus anillos y sus válvulas permiten sellar hermética y correctamente la junta con el cilindro.

4.1.3 Pruebas de fugas.

La prueba de fugas es una forma en que se puede determinar si el motor tiene un problema interno en lugar de algo externo, como desgastes progresivos en anillos y cilindros de pistón o si las válvulas y los sellos de éstas lo están haciendo bien. La prueba de fugas mide la pérdida de la compresión en el motor en el momento de la combustión en el conjunto cilindro- cámara de combustión. Este procedimiento es diferente más preciso. Se realiza en un kit probador de fugas OTC #5609 cilindros y una fuente de aire comprimido externa que induce aire al sistema de aire comprimido **Figura 4-3**.



a)



b)

Figura 4- 3: a) kit probador de fugas OTC #5609 cilindros I, b) fuente de aire comprimido con presión de 120 psi.

Esta prueba permite realizar un análisis del estado interno del motor verificando si existen fugas de aire por el múltiple de admisión, cuerpo de aceleración, múltiple de escape, tapa del aceite, anillos del pistón, cilindro o culata (fonseca medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio, 2012).

A continuación, en la tabla **Tabla 4-2:** Se encuentra el registro de prueba de fugas encontrado en el análisis inicial para los 4 cilindros.

Tabla 4- 2 : Resultados de la prueba de fugas del análisis con la inducción de aire comprimido de 100 psi teniendo los resultados en cilindro 1 fugas del 20% por 80 psi, cilindro 2 fugas del 90% por 90 psi, el cilindro 3 fugas del 5% por 95 psi y cilindro 4 del 80% por 80 psi.

PRUEBADE FUGAS			
Fecha:	11/05/21		
Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4
80 psi - 100 psi ~ 20%	90 psi - 100 psi ~ 10%	95 psi - 100 psi ~ 5%	80 psi -1 00 psi ~ 20%

A continuación, en la **Figura 4-4** se puede evidenciar las pruebas de fugas realizadas en el motor Chevrolet aveo 1.6L



a)



b)

Figura 4-4: a) Prueba de fugas para los cilindros 1-4 en PMS y b) Prueba de fugas para los cilindros 2-3 en PMS.

Resultados de la prueba de fugas.

Durante la prueba realizada en los 4 cilindros no se registraron silbidos ni aire escapando por el orificio de la tapa del aceite ni tampoco por cilindros vecinos. Al realizar la prueba se registró que existe un promedio de fugas del 13,75 % para sus 4 cilindros por lo que aun la vida útil de las partes del motor tales como pistón, camisa, juntas y anillos se conservan en buen estado.

4.1.4 Pruebas de Vacío.

El diagnostico por vacío se realiza para conocer el estado interno de la admisión del motor. Un motor en buenas condiciones genera un vacío o succión, en el múltiple de admisión, entre 17 a 22 pulg Hg. (pulgadas de mercurio) en promedio (fonseca medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio, 2012). La lectura normal o básica, varía de acuerdo con la altitud y las condiciones atmosféricas. (cada 1000 pies de altitud las lecturas disminuyen 1 a 2 pulg hg).

La herramienta usada para este tipo de análisis es el 5613 vacumm pressure gauge kit que se muestra a continuación en la **Figura 4-5**.



a)



b)

Figura 4- 5: a) 5613 vacumm pressure gauge kit utilizado en esta investigación b) equipo de vacío en marcha mínima conectado a una línea de vacío en el múltiple de admisión. A continuación, en la **Tabla 4-3** se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de vacío en el motor.

Tabla 4- 3:Resultados obtenidos a partir del análisis de prueba de vacío.

PRUEBA DE VACIO EN EL MULTIPLE DE ADMISION		
Fecha:	11/05/21	
Medicion en:	Valor en In Hg	Oscilacion en In Hg
Arranque del motor	3.4 in Hg	N/A
Marcha Minima	11.2 in Hg	N/A
Crucero Constante	13.5 in Hg	N/A
Aceleracion Plena	1 in Hg	N/A
Desaceleracion	12.7 in Hg	N/A

Resultado preliminar de la prueba

El diagnóstico del análisis registrado realizado para la prueba de vacío en aceleración plena se evidencia en condiciones aceptables de funcionamiento, el motor presenta ligeras oscilaciones por el ingreso de aire por desgaste normal del filtro de aire del motor.

La lectura se realiza en pulgadas de mercurio (in Hg) y los valores dados son catalogados a nivel del mar (2000 ft) (Fonseca Medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio, 2012)

4.2 Funcionamiento general de motor

4.2.1 Funcionamiento de la bomba de combustible

La bomba de gasolina es la encargada de suministrar y dosificar el combustible hacia los inyectores de tal manera que envíe directamente el combustible hacia el riel de inyectores a una determinada presión y este se distribuya sobre el conjunto de cilindros. La bomba de gasolina posee un regulador de presión que se encarga de enviar el combustible de una manera constante y controlada (Miño C. I., 2009). A continuación, en la **Figura 4-6** se logra evidenciar la bomba de combustible electrónica adaptada a la ayuda didáctica del Chevrolet Aveo 1.6L.



Figura 4- 6: Bomba de inyección de combustible electrónica Chevrolet Aveo 1.6L.

Debido a la necesidad de regular el consumo se adecuó el tanque para ajustar la altura en el funcionamiento de la bomba, las mangueras, el filtro, la válvula anti retorno y la señal de la bomba se encuentran en estado óptimo.

4.2.2 Presión de combustible

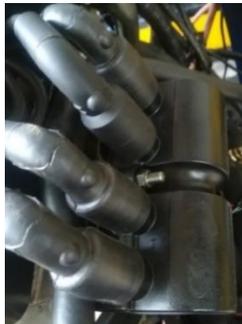
La presión del combustible es generada desde la bomba hacia los inyectores se encuentra en estado regular y el rango de presión de entrada es de 55,11 psi (3,8 Bar) indicada por el manómetro Alfa test **Figura 4-7**.



Figura 4- 7: Manómetro de presión de combustible-Alfatest utilizado para comprobar la presión de salida de combustible hacia los inyectores.

4.2.3 Estado de las bobinas

El conjunto de ignición se revisa de acuerdo al estado general de encendido del motor (Bujías, cableado, batería, bobinas) Chevrolet Aveo 1.6L.



a)



b)

Figura 4- 8: a) Conjunto de bobinas de encendido 1 y 2 bobinas y b) Conector del primario de encendido.

El estado de las bobinas registra una correcta ignición, se encuentra en estado óptimo y el conjunto del primario y el secundario del sistema de encendido no presenta ninguna falla.

4.2.4 Estado de las bujías

Las bujías presentan un leve desgaste y carbonización para ello se procedió a pulir la punta de ignición y se recalibraron a 1.0 mm como se indica en el manual (Aveo, 2008) y con la ayuda de un elemento llamado TA500 SmarTach+COP **Figura 4-10** Se comprobó el rango de potencial de kV.



Figura 4- 9: Juego de bujías standard de 1 electrodo de marca NGK para el motor Chevrolet Aveo.

Los valores registrados indican el rango potencial (kV) para las 4 bujías probadas, siendo el valor más alto ingresado de intensidad

Se utiliza el equipo TA500 como medidor del kilo voltaje, del sistema de encendido, el tiempo de quemado y los milisegundos de cada accionamiento proveniente de la señal generada por la ECU

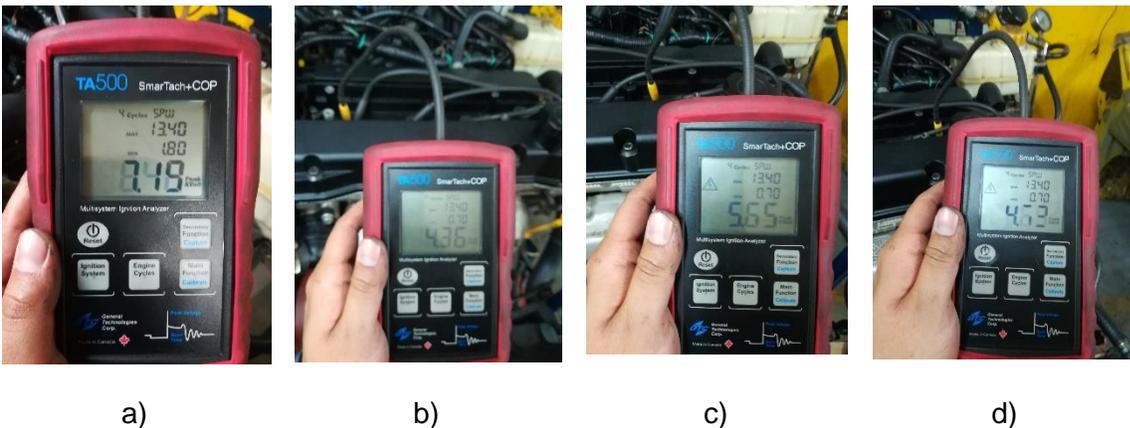


Figura 4- 10:a) lectura de 7.19 kvolt, b) lectura de 4.36 Kvolt, c) lectura de 5.65 Kvolt y d) lectura de 4.36 kvolt. El valor mínimo de registro de intensidad debe ser de 3.54 kvolt.

4.2.5 Filtro de aire

El filtro de aire se encuentra en estado óptimo, no se evidencian desgastes y/o roturas ver **Figura 4-11**.



Figura 4- 11: Filtro de combustible standard del Chevrolet Aveo.

4.2.6 Revisión del nivel de aceite

El nivel de aceite se encuentra sobre el nivel regular, revisando la bayoneta **Figura 4-12**. No se encuentran o evidencian fugas ni tampoco goteos en parte del bloque o juntas tampoco se evidencia humedad en el Carter.



Figura 4- 12: Bayoneta indicadora de nivel de aceite.

4.2.7 Estado del sistema de refrigeración

El radiador y las mangueras, uniones y tapas **Figura 4-13** se encuentran buen estado nivel de líquido refrigerante se encuentra en buen estado.



Figura 4- 13: Deposito de refrigerante del motor Chevrolet Aveo 1.6L

4.3 Pruebas con mezclas de Bio-Combustible

Para la preparación de la mezcla se utilizó gasolina pura obtenida de la planta mancilla Terpel – Ubicada en Facatativá y Bio-etanol anhidro de caña de azúcar obtenido de las pruebas de la Fuerza Aérea de Colombia (FAC). Seguido de esto se dosificaron 5 mezclas de biocombustible (E10, E15, E20, E50, E85) **Figura 4-14** y 1 parte de gasolina pura como punto de partida para comparar estos resultados con las emisiones emitidas.

De acuerdo con los estándares de calidad la mezcla se preparó con elementos de precisión tales como beaker (1L), probetas (500 ml), goteros y embudos para cada mezcla, se decidió por dosificar la mezcla a 1 litro de biocombustible/combustible **Tabla 4-4** en cada uno de los recipientes.

Tabla 4- 4: Porcentajes de las 6 mezclas de Combustible/Biocombustible.

Muestra	Porcentaje de gasolina	Porcentaje de bioetanol
Gasolina	100%	0%
E10	10%	90%
E15	15%	85%
E20	20%	80%
E50	50%	50%
E85	85%	15%

La preparación de las mezclas se realizó en recipientes individuales perfectamente limpios y se dosificaron en un 1L de contenido por mezcla, en total son 6 muestras las cuales serán depositadas en el tanque de combustible.



Figura 4- 14: Muestras individuales (6) de las mezclas utilizadas para la realización del análisis

4.3.1 Preparación del analizador de gases.

El analizador de gases HANATECH ULTRA 4/5 GAS ANALIZER - IM 2400 es un equipo muy importante en este experimento y por ello debe estar calibrado y verificado, Pues la lectura que muestra debe ser de gran precisión. El analizador posee una pantalla indicadora en donde se miden valores de CO en %, CO₂ en %, O₂ en % y Hexanos HC en ppm, NO_x en ppm también realiza lecturas del estado de la sonda lambda/AFR (Air Fuel

Ratio) para mezclas de Bio-etanol y temperatura inicial, en la **Figura 4-15** se puede visualizar el analizador de gases empleado en el experimento.



Figura 4- 15: a) Analizador HANATECH-2400 usado en la metodología experimental de este proyecto b) Fecha de calibración y verificación el 23 de agosto de 2021 perteneciente a la Universidad ECCI c) sonda de pruebas utilizada en el experimento.

Como lo indica la norma NTC 4983, Los datos de lectura de cada una de las mezclas son registrados por la sonda de pruebas de emisiones, esta sonda debe estar en un ambiente equilibrado y en cada lectura debe ser limpiada con aire comprimido solamente.

Seguido de esto se procede a realizar el auto cero es un procedimiento que funciona para cero iniciar los resultados del analizador. Este proceso se usa para conocer los datos del ambiente registrados desde la sonda y realizar la Pre-inserción.

Para iniciar con la lectura de datos es necesario insertar la sonda de prueba en el exhosto del motor y realizar el procedimiento de chequeo de prueba de inserción. Para realizar el chequeo es necesario presionar 2 Veces la tecla ESC y ENTER. Seguido de esto iniciar con las pruebas de medición desde el analizador de gases. Finalmente, después del alistamiento del equipo se procede a tomar la lectura y revisión de datos en tiempo real.

4.3.2 Relación Aire/Combustible AFR – Factor lambda λ

La relación de aire/combustible está definida por la proporción de mezcla de aire y combustible ingresada en la cámara de combustión. Un ejemplo claro es si se tiene una mezcla de gasolina y aire la cual es de 17.5 partes, significa que en una mezcla se tiene 17.5 de aire por 1 de gasolina siendo esta una mezcla pobre. (x-engineer.org, 16).

La relación ideal de aire/combustible (teórica), para una combustión completa, se llama relación estequiometria de aire/combustible es de alrededor de 14,7 a 1. Esto significa que, para quemar por completo 1kg de combustible se necesita 14,7kg de aire.

Por otro lado, el factor lambda es el cociente entre la disponibilidad del oxígeno sobre el oxígeno demandado, por ejemplo, si en un escenario dado la mezcla es de 1@15,5, convirtiéndolo a un factor lambda es $15,5/14,7 = \lambda = 1,05$ lo que se denominaría mezcla pobre. Esta situación es la adecuada para lograr consumos y emisiones mínimas de gases contaminantes, tales como hidrocarburos y monóxido de carbono (HC y CO). Pero si por otro caso se tiene una relación de 13,5/14,7 se obtiene $\lambda = 0,92$ se denomina mezcla rica y se obtiene torque o par y potencia máximos pero el consumo de combustible y las emisiones contaminantes son mayores (x-engineer.org, 16)

4.3.3 Parámetros de medición

Como muestra la **Tabla 4-5** se encuentran el rango de emisiones máximas permisibles por la NTC del analizador de gases utilizado.

Tabla 4- 5:Rango de emisiones permitidas sobre el territorio colombiano bajo la normatividad NTC 4983 (ICONTEC).

Parámetro	Símbolo	Intervalo mínimo de medición	Unidad
Monóxido de Carbono	CO	0 a 10	% en volumen
Dióxido de carbono	CO ₂	0 a 20	% en volumen
Hidrocarburos (n-hexanos)	HC	0 a 10000	Ppm (partes por millón)
Oxigeno	O ₂	0 a 22	% en volumen

4.3.4 Parámetros de Relación Aire/Combustible AFR – factor lambda λ .

A continuación, en la **Tabla 4-6** se muestran los parámetros establecidos de la mezcla de aire combustible o el factor lambda ideal en motores de combustión interna que funcionen con gasolina (x-engineer.org, 16).

Tabla 4- 6:Parámetros de medición de mezcla de aire/combustible y factor lambda (x-engineer.org, 16).

Mezcla Rica	Mezcla estequiometria	Mezcla Pobre
$1.00 \leq \lambda$	$\lambda = 1.00$	$\lambda \geq 1.00$
$1 \leq 14.7$	14.7:1	$14.7 \geq 1$

4.3.5 Relación Aire combustible AFR – λ

La relación aire/ combustible permite realizar una conversión de valores de partes de combustible por partes de gasolina ingresados, para conocer el valor del factor lambda ideal. (Ecuación 4.1)

$$AFR = \frac{ma}{mf} = \lambda \quad (4.1)$$

Donde:

ma: masa de aire

mf: masa de combustible

λ : lambda

4.3.6 Foto tacómetro

El tacómetro STINGER ELECTRONICS MODEL – 3660 como se muestra en la **Figura 4-16** es un instrumento vital en este experimento ya que permite medir las RPM del motor. Esto es indispensable para realizar el procedimiento de lectura de las aceleraciones como la marcha cruceo (2,500 – 500 +/-) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, 2008), y dinámica. Luego de esto los datos son extraídos y sirven para referenciar el patrón de emisiones desde la Normatividad Técnica Colombiana (NTC-4983) (Icontec Internacional, 2012).



Figura 4- 16: Foto tacómetro STINGER ELECTRONICS MODEL - 3660 puede registrar de manera manual las RPM 's del motor por medio de un láser conducido hacia el volante del motor.

4.3.7 Análisis Gravimétrico de consumo de Biocombustible y pruebas realizadas.

Antes de cada prueba fueron medidas las condiciones atmosféricas como la humedad temperatura y altura de la ciudad de Bogotá que serán mostradas durante el desarrollo de estas, se toma el consumo de las mezclas de combustibles independientes hasta obtener los parámetros de emisiones acordes a las mezclas utilizadas, siendo estudiadas las condiciones de aceleración mínima, cruceo e instantes de aceleración máxima y desaceleración súbita. Los valores como la densidad del combustible fueron variados mientras cambiaba la condición de la mezcla de biocombustible. Con la ayuda de una báscula LEXUS ELECTRONIC WEIGHING – FENIX MAXIS **Figura 4-17**, calibrada se midió el peso inicial del recipiente y se tomó este valor inicial (**Pi**) para después tomar un valor con el biocombustible cargado (**Pf**). Esto con el fin de comprobar el consumo de Bio-combustible. Para confirmar el pesaje del conjunto de la bomba se TARA (cero inicio de la báscula), de esta manera se valida el pesaje tomado y se añade la mezcla de combustible al conjunto. El valor indicado será tomado como base para conocer el valor de consumo de combustible durante las pruebas con mezclas elaboradas para cada corrida de 1L. Ver (Ecuación 4.2)

$$\Delta P = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \quad (4.2)$$



a)



b)

Figura 4- 17: a) Bascula LEXUS ELECTRONIC WEIGHING – FENIX MAXIS b) nivel y usado para conocer el peso del combustible en la bomba de combustible del motor.

4.3.8 Cálculo del volumen de la muestra

El volumen registrado de la muestra se calcula a partir de valores esenciales tales como la densidad del fluido a usar, la masa registrada en el consumo final y el valor total de la muestra registrada por dos llenadas de probeta de $(500 \text{ cm}^3 * 2) = 1000 \text{ cm}^3$, (Ecuación 4.3)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.3)$$

Donde:

ρ = Densidad

m = masa

v = Volumen

Despejando v:

$$V = \frac{m}{\rho} \times 1000 \text{ cm}^3 \quad (4.4)$$

El volumen registrado es el consumo de combustible en 1L de la muestra iniciada.

4.3.9 Cálculo de la densidad de la mezcla

La densidad de las mezclas de biocombustibles E10, E15, E20, E50 y E85 presenta variaciones debido al porcentaje de etanol añadido y el porcentaje de gasolina, por esto se realizó un pesaje inicial del consumo de combustible y un peso del combustible cargado en el depósito ver (Ecuación 4.5).

Peso del sistema de combustible + peso del combustible = peso total de la muestra (4.5)

Una vez obtenido el valor del peso de combustible cargado, se determina el valor de la densidad por mezcla utilizando la (Ecuación 4.3) y el valor registrado de la densidad se reemplaza en la (Ecuación 4.4).

4.3.10 Método de toma de pesos del combustible

La preparación y dosificación de las mezclas están registradas en el **anexo A-A** al final del documento donde se muestran las fotografías de todos los procedimientos realizados.

4.3.11 Experimentación inicial.

Como método experimental inicial se realizó un análisis de emisiones con gasolina pura. A continuación, se muestra la preparación de esta prueba inicial.

Preparación de la muestra

El peso del combustible se toma como dato de referencia para conocer el peso de todo el conjunto, Siendo dividido de la siguiente manera:

Conjunto sistema de combustible:

- Línea de combustible y flauta de inyectores.
- Conjunto Bomba de combustible.
- Reservorio de Combustible en Acero, peso total sin combustible: 6235 g.

A continuación, la **Figura 4-18** muestra las probetas con gasolina pura y muestra el pesaje inicial del litro de gasolina comercial de 1000 ml.

Figura 4- 18: e) probetas con gasolina pura, volumen de 500 ml, f) recipiente de gasolina pura dosificada en 1L.



e)



f)

Figura 4- 19: Pesaje inicial del depósito de gasolina



Incremento del pesaje con el combustible añadido

Con el cero inicio de la báscula se conoce el valor de carga final de combustible en el conjunto de la bomba, las mezclas de combustible se cargaron en conjunto con la bomba.

en cada corrida de la prueba formando 1L de combustible por prueba. Como se muestra en la **Figura 4-20**, aplicando la fórmula del cero inicio.

(Ecuación 4.6) $\text{Peso del sistema de combustible} + \text{peso del combustible} = \text{peso total de la muestra}$, obteniendo un valor de $6,235\text{g} + 725\text{g} = 6,960\text{g}$ para cada una de las mezclas.

Figura 4- 20: Cero inicio del depósito con el combustible cargado



Pesaje final Gasolina pura.

Después de realizar la corrida de experimentación en gasolina pura, con el análisis de gases, el valor registrado es el resultado del pesaje final con un valor de 590 g como se muestra en la **Figura 4-21**.

Figura 4- 21:Consumo final del análisis con gasolina pura



Análisis Gravimétrico gasolina

En el análisis gravimétrico es vital conocer la temperatura ambiente, la humedad y la densidad del fluido y como el consumo de combustible que varía de acuerdo con el entorno ambiental, los datos arrojados se mostrarán en la **Tabla 4-7** y el análisis de los resultados de consumo de mezclas se verán en la unidad 5 de este documento.

Tabla 4- 7:Tabla de datos del análisis gravimétrico para gasolina pura.

ANALISIS GRAVIMETRICO GASOLINA PURA			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	6.960 g	Dia del Analisis	14/10/21
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6.235 g	Temperatura Ambiente	16°C
Presion del Combustible	55,114 psi /3,79	Humedad	70%
	Bar		Densidad del fluido
		Altura de Prueba	2.640 mts
Peso inicial de la muestra	725g		
Peso final de la muestra	590g		
Variacion de la muestra	135 g		

4.3.12 Cálculo de consumo por pruebas realizadas

Una vez se calcula el valor de la densidad (ecuación 4.3), esta se registra en la (ecuación 4.4) y se reemplaza para luego obtener el resultado del valor del consumo en cm^3 , a continuación en la **Tabla 4-8** se puede evidenciar los consumos calculados por mezcla. El valor de la densidad ρ se calculó a partir de la (Ecuación 4.7)

Peso inicial de la muestra + peso final de la muestra = Variacion total de la muestra,

Tabla 4-8: Datos registrados de densidad y de consumo de prueba por mezclas.

Mezcla de combustible por Litro	Cantidad de ml de C_8H_{18}	Cantidad de ml de alcohol anhidro	Densidad g/L	Consumo en prueba g/cm^3

E0	1000	0	725	186.20
E10	900	100	890	202,22
E15	850	150	720	208.33
E20	800	200	705	269.50
E50	500	500	750	420.0
E85	150	850	775	722.58

4.3.13 Análisis de emisiones

Análisis de Emisiones con gasolina pura y las diferentes mezclas

Durante el experimento Se realizaron 3 Pruebas de emisiones: Ralentí, Crucero y Dinámica (Aceleración/Desaceleración) (Icontec Internacional, 2012), los resultados se muestran en la **Tabla 5-2.** independientes para gasolina pura, E10, E15, E20, E50 y E85. Estos análisis fueron monitoreados constantemente y la prueba tuvo una duración de 10 minutos por mezcla.

El análisis de emisiones consiste en poner en marcha al motor durante 5 minutos en condición de ralentí para comprobar la funcionalidad del motor y la activación de la sonda lambda, catalizador y ajuste de mezcla del motor.

Una vez pasados los 5 minutos se procedió a realizar la toma y registro de resultados para cada una de las mezclas.

Para la prueba de ralentí los resultados se registraron durante 1 minuto, y para las pruebas de crucero y Dinámica se realizaron durante 30 segundos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.1 Resultado del consumo de Combustible.

Los resultados de consumo de combustible se obtuvieron de manera independiente por cada prueba de mezcla de combustible realizada, cada prueba duró 10 minutos con la carga de combustible aplicada y su posterior análisis de emisiones. A continuación las Tablas 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-6 pueden evidenciar el consumo de combustible por mezcla analizada, con la aplicación de las ecuaciones 4.4 volumen con densidad y 4.5 peso total de la mezcla.

Tabla 5- 1: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con gasolina pura.

ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO GASOLINA PURA			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	6.960 g	Día del Analisis	14/10/21
Peso Recipiente Vacío (Pi)	6.235 g	Temperatura Ambiente	16°C
Presión del Combustible	55,114 psi /3,79	Humedad	70%
	Bar		
		Densidad del fluido	725 g/L
		Altura de Prueba	2.640 mts
Peso inicial de la muestra	725g		
Peso final de la muestra	590g		
Variación de la muestra	135 g		

De la **Tabla 5-1** se interpreta que a partir del pesaje inicial de la prueba de 725g de combustible y el pesaje final de 590g, con el cual se determina el valor de la densidad y también el valor de la variación del pesaje total (consumo) después de la prueba fue de 135g, es decir se consumió 18,6% de la muestra utilizada; esto permite obtener el caudal de consumo de combustible demostrado en la **Tabla 5-7**, La presión entregada por la bomba de combustible hasta el riel fue de 55,114 psi ~ 3,79 bar. El día de la realización de la prueba se registró una humedad en el ambiente de un 70%, la presión fue constante para todos los experimentos, la cantidad de muestra que se consumió durante el desarrollo de la prueba fue de 135 g .

Para calcular el consumo de la mezcla E10 el valor de densidad del fluido cambio a 890 g/L, la temperatura del ambiente permaneció constante también para la humedad y para la presión. El pesaje final de la muestra fue de 180 g en la **Tabla 5-2** se pueden evidenciar los datos obtenidos tales como peso del recipiente cargado, vacío y el pesaje inicial y el pesaje final de la muestra.

Tabla 5- 2: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E10.

ANALISIS GRAVIMETRICO MEZCLA E10				
Peso Recipiente Cargado (Pf)	7.155 g	Dia del Analisis	14/10/21	
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6.265 g	Temperatura Ambiente	16°C	
Presion del Combustible	55,114 psi /3,79 Bar	Humedad	70%	
		Densidad del fluido registrado	890 g/L	
		Altura de Prueba	2.640 mts	
Peso inicial de la muestra	890g			
Peso final de la muestra	710g			
Variacion de la muestra	180g			

En la **Tabla 5-3** se pueden evidenciar los datos obtenidos de pesaje inicial, pesaje final, densidad y humedad del ambiente, peso recipiente cargado, vacío, valores de presión de combustible permanecieron constantes para todas las muestras.

Tabla 5-3: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E15.

ANALISIS GRAVIMETRICO MEZCLA E15			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	6,920g	Dia del Analisis	30/10/21
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6,200g	Temperatura Ambiente	17,2°C
Presion del Combustible	55,114 psi/ 3,79 bar	Humedad	73%
		Densidad del fluido registrado	720 g/L
		Altura de Prueba	2640 mts
Peso inicial de la muestra	720g		
Peso final de la muestra	570g		
Variacion de la muestra	150 g		

En la **Tabla 5-4** se puede evidenciar los datos obtenidos de pesaje inicial, pesaje final, densidad y humedad del ambiente, peso recipiente cargado y vacío para la muestra E20.

Tabla 5-4: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E20.

ANALISIS GRAVIMETRICO MEZCLA E20			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	7,015g	Dia del Analisis	30/10/21
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6,310g	Temperatura Ambiente	17,2°C
Presion del Combustible	55,114 psi/ /3,79 bar	Humedad	73%
		Densidad del fluido registrado	705 g/L
		Altura de Prueba	2640 mts
Peso inicial de la muestra	705g		
Peso final de la muestra	515g		
Variacion la muestra	190g		

En la **Tabla 5-5** se puede evidenciar los datos obtenidos de pesaje inicial, pesaje final, densidad y humedad del ambiente, peso recipiente cargado y vacío para la muestra E50.

Tabla 5-5: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E50.

ANALISIS GRAVIMETRICO MEZCLA E50			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	7,005gr	Dia del Analisis	30/10/21
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6,255gr	Temperatura Ambiente	17,2°C
Presion del Combustible	55,114 psi/ 3,79 bar	Humedad	73%
		Densidad del fluido registrado	750 g/L
		Altura de Prueba	2640 mts
Peso inicial de la muestra	750gr		
Peso final de la muestra	400gr		
Variacion de la muestra	350gr		

En la **Tabla 5-6** se puede evidenciar los datos obtenidos de pesaje inicial, pesaje final, densidad y humedad del ambiente, peso recipiente cargado y vacío para la muestra E85.

Tabla 5-6: Análisis gravimétrico obtenido durante la prueba con mezcla E85.

ANALISIS GRAVIMETRICO MEZCLA E85			
Peso Recipiente Cargado (Pf)	7,020gr	Dia del Analisis	06/11/21
Peso Recipiente Vacio (Pi)	6,245gr	Temperatura Ambiente	17°C
Presion del Combustible	55,114 psi/ 3,79 bar	Humedad	50%
		Densidad del fluido registrado	775 g/L
		Altura de Prueba	2640 mts
Peso inicial de la muestra	775gr		
Peso final de la muestra	215gr		
Variacion de la muestra	560gr		

Una vez obtenidos los resultados de consumo por mezcla se procede a realizar un análisis de consumo general, en la **Tabla 5-7** se puede evidenciar los resultados de consumo en volumen por cada 10 minutos de prueba.

Tabla 5-7: Resultados del consumo de combustible por cada 10 minutos de prueba con el motor en funcionamiento.

RESULTADOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	
Combustible	Unidad (g/cm³)
E0	186.20
E10	202.220
E15	208.33
E20	269.5
E50	420
E85	722.58

El consumo de combustible se fue incrementando gradualmente para cada una de las mezclas E10, E15, E20, E50 y E85, respectivamente, debido al porcentaje de mezcla utilizado, Un estudio realizado por (Boluda, Macías, & González Marrero, 2019) indican que a mayor adición de etanol se eleva el octanaje de la gasolina; por esta razón, la mezcla de etanol y gasolina contiene menos cantidades de compuestos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos), y además se debe a que el etanol genera un mayor grado de octanaje y puede quemarse más rápido y completamente. Las gasolinas con compuestos aromáticos emiten más hidrocarburos en su combustión tienen teniendo una combustión más incompleta que la mezcla de gasolina con etanol (dos Santos Masson, Gravatim Costa, Pelegrini Roviero, & de Freitas, EBSCOhost, 2015) .

Como se muestra en la **Figura 5-1** el menor consumo de combustible registrado fue para la gasolina pura con un valor de 186.2 g/cm³ (gramos por centímetro cubico), mientras que para la mezcla E10 tuvo un ligero aumento de consumo 202.22 g/cm³. Un estudio realizado por (Alvarez Calvo, Saenz Camacho, & Torres Céspedes, Instituto tecnologico de monterrey, 2007) logra determinar que la mezcla E10 es la más eficiente y cumple con los parámetros de funcionamiento comparados con las demás mezclas analizadas, pues no es necesaria una modificación interna para que el MCI pueda operar con normalidad.



Figura 5-1: Representación gradual del consumo de combustible durante el experimento.

Durante el análisis de la mezcla E15 el consumo aumentó a 208,33 cm³/s, siendo este un aumento no muy significativo demostrando que el consumo aun es bajo comparado con las 2 pruebas anteriormente realizadas. El consumo registrado para la mezcla E20 fue de 269.5 cm³/s aumentado el nivel de consumo. (Carpio rosantes & cedillo sanchez, dspace.ups, 2015) menciona que el consumo de combustible aumenta, debido a que existe un mayor régimen de giro del motor y logra que la mezcla haga una mejor combustión, queme con mayor rapidez en cámara de combustión especialmente a altas rpm.

La mezcla E50 representa un aumento de consumo en 420 cm³/s, esto se debe a que aumenta el octanaje de la mezcla haciéndola menos poluente (Alvarez Calvo, Saenz Camacho, & Torres Céspedes, Instituto tecnologico de monterrey, 2007) (Pardo Oñate, 2020), también la función de formación de Gibbs (Turns, 2000) de la gasolina es de 114.2 kg/kmol mientras que para el etanol es de 46,07 kg/kmol por esto el desequilibrio en consumo con los otros resultados con menor cantidad de mezcla de biocombustibles. Esta misma situación también se presenta con la mezcla E85 la cual tuvo el consumo más elevado de todos los experimentos realizados siendo de 722,58 cm³/s. Sin embargo, un estudio realizado por (Mariaca, Cendales, & Eslava, scielo.org, 2015) indican que esta es

la mezcla que posee mayor eficiencia en cámara de combustión para un MCI, también de mayor liberación de calor instantáneo y mayor calidad de trabajo realizado por ciclos siendo la que mejor se destaca entre el análisis de otras mezclas de biocombustibles.

5.1.2 Resultados de las emisiones producidas.

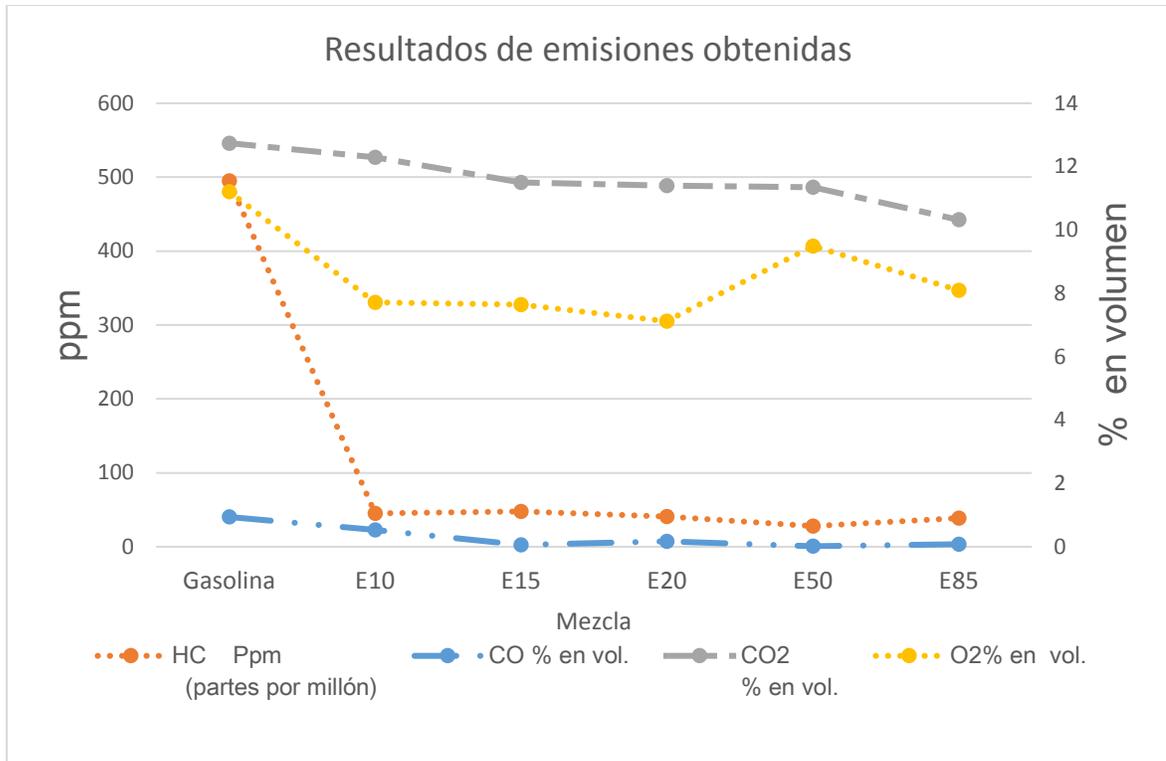
El registro del comportamiento de emisiones se realizó en conjunto y se promedió el resultado por cada unidad de gas contaminante. En la **Tabla 5-8** se logra observar los resultados por prueba y mezcla.

Tabla 5-8: Resultado del análisis de emisiones por mezcla/combustible de gasolina hasta la mezcla E85.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE EMISIONES								
Fecha:	11/11/21							
N°	GAS	UND	Gasolina	E10	E15	E20	E50	E85
1	CO	% en volumen	0.094	0.053	0.01	0.017	0.002	0.008
2	HC	Ppm (partes por millón)	495	45.3	48	40.7	28	38.9
3	CO ₂	% en volumen	12.74	12.29	11.5	11.4	11.35	10.32
4	O ₂	% en volumen	11.21	7.71	7.64	7.12	9.49	8.1
5	AFR /Lambda	14,7:1/1.00	23.04/1.56	17.99/1.21	20.95/1.42	19.45/1.32	24.58/1.63	27.9/1.89

A continuación, en la **Figura 5-2** Se puede evidenciar un gráfico que muestra el resultado de emisiones para la gasolina pura y las mezclas E10, E15, E20, E50, E85. En donde se evalúa el porcentaje de CO, CO₂ y O₂ y la ppm HC, productos de la combustión.

Figura 5- 2: Grafico combinado del comportamiento de emisiones por mezcla de combustible.



Mediante el análisis de emisiones registrados para la gasolina pura y las mezclas E10, E15, E20, E50 Y E85, y los datos adquiridos a partir del consumo de combustible se logró determinar que:

- En la **Tabla 5-8** se presenta un análisis de emisiones combinado para cada mezcla E10, E15, E20, E50, E85 y gasolina pura, en donde se evaluaron patrones de medición en volumen (%) y ppm (partes por millón). Los resultados de medición de los gases contaminantes se promediaron y se destacaron los valores más altos de la muestra.
- Estos datos se obtuvieron a partir de un analizador de gases HANATECH 2400 de los cuales sus rangos de lectura de contenido son de monóxido de carbono (CO) y de Hidrocarburos (HC); cabe resaltar que estos gases representan el mayor daño para el medio ambiente y para la salud. Por esto, al realizarse un análisis de un Biocombustible, en este caso bioetanol, y mezclarse con un combustible fósil como la gasolina, se deben disminuir notablemente las emisiones en un gran porcentaje.
- El patrón de medición de emisiones obedeció a la NTC 4983 ver **Tabla 4-3** y a la Resolución 910 de 2008.
 - A partir del análisis se puede evidenciar que la gasolina pura obtuvo los valores más altos de emisiones de hidrocarburos obteniendo un promedio de 495 ppm. Esto se debe porque los hidrocarburos (HC) que están presentes en la combustión

no se queman completamente debido a la falta temperatura de operación en el catalizador esta debe ser de 350°C, por ende, permanecen los gases contaminantes que son expulsados. Las emisiones de hidrocarburos fueron reducidas en pruebas estáticas con el MCI para las mezclas E10, E15, E20, E50 y E85, por consiguiente, no se encuentran resultados que incumplan con la norma NTC 4983 y la Resolución 0910-2008.

- para la gasolina pura el resultado de emisiones de monóxido de carbono (CO) evidentemente fueron las mayores con 0.094%, pero no representa un aumento que perjudique extensiblemente al medio ambiente pero siempre y cuando cumplan con las normas o leyes reguladas
- Para las mezclas con bioetanol en el análisis de emisiones de monóxido de carbono, (Alvarez Calvo, Saenz Camacho, & Torres Céspedes, Instituto tecnológico de monterrey, 2007) mencionan en su trabajo que, al incrementar la cantidad de bioetanol, se producirá una reducción notable en los gases de escape, como son los resultados en la mezcla E10, donde se encontró una reducción notable en las emisiones de CO un 0.053%, determinando que esta sería la mezcla más eficiente sin la necesidad de realizar modificaciones internas en el MCI. (Mariaca, Cendales, & Eslava, scielo.org, 2015) Explican que el etanol contiene un átomo de oxígeno que reacciona con el combustible mezclado como es la gasolina pudiéndose quemar completamente en la cámara de combustión, así reduciendo la emisión del CO. Aun así, en la evaluación del E85 las emisiones permisibles de CO alcanzan niveles mínimos del 0,04% en volumen, un valor bajo, el cual se puede ver reducido en comparación con el análisis mostrado con la gasolina pura, sin afectar las prestaciones del motor de manera considerable.
- Con gasolina pura la lectura de dióxido de carbono (CO₂) se encontró un porcentaje de volumen de 12,70% valor más alto registrado de emisiones hacia a la atmosfera, mientras el más bajo fue de la mezcla E85 con un porcentaje de volumen del 10.34%. El porcentaje de emisión de dióxido de carbono está muy ligado a la proporción de la mezcla de combustión y a las condiciones de operación del MCI. Aunque el CO₂ según (Rodriguez Rueda, 2015) no es un gas contaminante, sí es de interés revisar el comportamiento y su concentración emitida a la atmósfera. El rango de emisiones máximas permisibles de CO₂, según la NTC 4983 no debe ser un valor superior de volumen al 20% y dadas las características del MCI Chevrolet Aveo 1.6L, ninguno de sus rangos de emisiones con las mezclas de

biocombustibles evaluadas superó este rango durante los análisis de marcha mínima, crucero e instantes de aceleración y desaceleración. . En la **Figura 5-3** Se puede observar el instante mínimo de emisiones de CO₂ encontradas pertenecientes a la mezcla E85.



Figura 5-3: Instante máximo de emisiones encontrado para la mezcla E85 durante la prueba crucero fuente// autor

- El porcentaje de volumen de oxígeno para las emisiones de gasolina pura se registró en un 11,21%, teniendo una concentración de oxígeno alta en el ambiente, un estudio realizado por (Carpio rosantes & cedillo sanchez, dspace.ups, 2015) indican que el incremento de O₂ siempre estará presente, debido a que, al tener una mayor cantidad de oxígeno, el MCI siempre realizará una mejor combustión. El porcentaje de emisión para las mezclas evaluadas E10, E15, E20, E50 y E85 se mantuvo dentro del rango de emisiones

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

Se logró reducir en gran medida las emisiones de hidrocarburos HC y la producción de monóxido CO de carbono, en un MCI convencional. Por lo cual es posible Reducir las emisiones de gases contaminantes hasta la mezcla E85 de etanol con gasolina. Se encontró que el análisis emisiones de gasolina pura los hidrocarburos emitidos incumplen norma 910 de 2008 No obstante con la Toda la emisión de mezclas E10, E15, E20, E50 Y E85 encontradas en este artículo cumplen con la NTC 4983 y la norma 910 de 2008 para vehículos que circulen sobre la ciudad de Bogotá D.C.

El análisis de emisiones con las mezclas de Bio-combustible no afectaron en su funcionamiento al MCI, los análisis realizados en este motor tuvieron una duración total con alistamientos, pruebas preliminares estado del motor de 2 horas por mezcla, revisando periódicamente el funcionamiento del MCI y finalizando con las pruebas finales de estado mecánico del motor compresión, fugas y vacío verificando nuevamente el correcto funcionamiento de su conjunto móvil.

El MCI fue sometido a varias pruebas realizadas, los análisis de emisiones ejecutados determinaron que la mezcla E10 es la mezcla más eficiente para el uso en este MCI.

Una ventaja clara es que este tipo de Bio-combustible genera alta demanda de producción hacia varios mercados, su precio de fabricación es variable dependiendo del precio internacional del azúcar, en Colombia la mayor implementación en porcentaje de biocombustible en los automóviles modificará las estrategias de movilidad ya que se tendrá mayor consumo.

El uso de biocombustibles de manera extensiva puede en largo plazo reducir las emisiones GEI hasta en 25.8 millones de toneladas equivalentes en CO₂ (Abramova, 2009)

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar un banco de frenado para futuras pruebas de rendimiento, trabajo, potencia y eficiencia energética en motores de combustión interna.
- Mejorar el control de calibración, mantenimiento y verificación de analizadores de gases.
- Se recomienda realizar mantenimientos preventivos y correctivos en el motor tales como: (Cambio de bujías, Cambio de aceite y filtro de aceite, inspección a la culata, revisar empaques de culata, revisión eléctrica general, revisar el estado de pistones, camisas, anillos, bujes, bielas y cigüeñal).
- Se recomienda que se implemente un tacómetro indicador de estado general del motor, esto con el fin de poder controlar con precisión las rpm, indicador de temperatura del sistema de refrigeración, indicador del nivel de aceite.
- Se recomienda que el taller de inyección y sincronización adecúe una báscula de medición de pesaje y de igual manera realizarle un control de calibración, mantenimiento y/o verificación.
- Se recomienda incentivar el uso de biocombustibles en futuros proyectos para los M.C.I en la Universidad ECCI, y fortalecer la investigación sobre los biocombustibles líquidos.

A. Anexo A-A: Registro fotográfico de pruebas.

Preparación mezcla E10



Preparación mezcla E15



Preparación mezcla E20



Preparación mezcla E50



Preparación mezcla E85



REGISTRO DE ANÁLISIS DE EMISIONES

Análisis de Emisiones con gasolina pura

Ralentí



Crucero



Aceleración/Desaceleración



Análisis de Emisiones con E10

Ralentí



Crucero



Aceleración/Desaceleración



Análisis de Emisiones con E15

Ralentí



Crucero



|Aceleración/Desaceleración



Análisis de Emisiones con E20

Ralentí



Crucero



Aceleración/Desaceleración



Análisis de Emisiones con E50

Ralentí



Crucero



Aceleración/Desaceleración



Análisis de Emisiones con E85



Crucero



Aceleración/Desaceleración



B. Anexo B-B: Registro de documental del proyecto.



Bogotá D.C., abril 22 de 2021

Para: Organización Terpel Colombia.

De: Ing. Carlos Alberto Cristáncho - Director Ingeniería Mecánica Universidad ECCI
Comité de investigación Mecánica - Semillero de investigación SIGAE
Msc. Vladimir Silva Leal - Líder de Investigación Ing. Mecánica
Ing. José David Barón Pinilla - Docente Investigador.
MSc. Marggie Lisbeth Tovar Torres - Docente Investigador

Asunto: Autorización de compra gasolina pura (cant. 3 galones) para contribuir al proyecto
"ANÁLISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DEL BIODETANOL EN UN MOTOR DE ENCENDIDO
POR CHISPA CHEVROLET AVEO 1.6"

Cordial Saludo Organización Terpel Colombia.

Por medio de la presente solicito a ustedes como organización la posibilidad de adquirir 3 galones de gasolina 100% pura, esto con el fin de realizar pruebas experimentales dedicadas a un proyecto de investigación del programa Tecnología en Mecánica Automotriz titulado "ANÁLISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DEL BIODETANOL EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA CHEVROLET AVEO 1.6" a cargo del estudiante Juan Sebastián Lucero Sanabria, bajo la dirección del profesor José David Barón Pinilla y la co-dirección de la profesora Marggie Lisbeth Tovar Torres.

Agradecemos su colaboración en este proyecto.



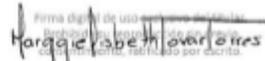
Ing. Carlos Cristáncho
Director de Programa de Ingeniería
Mecánica



MSc. Vladimir Silva Leal
Líder de Comité de Investigación



Ing. José David Barón Pinilla
Docente Investigador
Director del proyecto



MSc. Marggie Lisbeth Tovar Torres
Docente Investigador
Co-Director del proyecto



Juan Lucero S.

Juan Sebastián Lucero Sanabria
Estudiante Tecnología en Mecánica
Automotriz

CONSEJO DIRECTIVO 2020-2022

DR. SIMÓN MARTÍNEZ MARTÍNEZ
Presidente

DR. JOSÉ JAVIER OSPINA CABELLO
Tesoro

DRA. LAURA LILIA CASTRO GÓMEZ
Secretaría

DR. JOSÉ MANUEL RIERDO AVILA
Vicepresidente de Termofluidos

DR. ARTURO ARÓNDIZ PUEGO
Vicepresidente de Mecánica Teórica

DR. ÁLVARO AYALA RUIZ
Vicepresidente de Diseño Mecánico

M. EN C. EDGAR ISAAC RAMÍREZ CÁZ
Vicepresidente de Manufacturas y Materiales

M.A.S.C. ANGÉLICA ROSALDO MARTÍNEZ
Vicepresidente de Educación en Ingeniería Mecánica

DR. CARLOS ARTURO REYES RUIZ
Vocal de Asesoría Subordinada

DR. CARLOS GABRIEL FIGUEROA ALCÁNTARA
Vocal Difusión

DR. ARTURO BARRA PREGARRÓN
Vocal de Asesoría Internacional

JUAN SEBASTIAN LUCERO SANABRIA

Presente.

A la vez de saludarlo sirva este medio para informar a usted que el Comité Evaluador del 28 Congreso Internacional Anual de la SOMIM ha decidido aceptar para su presentación y publicación el trabajo titulado:

"ANÁLISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE BIOETANOL EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ENCENDIDO POR CHISPA 1.6 L"

Con clave de registro: A8_93

A nombre de la SOMIM lo felicito por haber enviado un trabajo digno de ser publicado en las memorias del 28 Congreso Internacional Anual de la SOMIM que se llevará a cabo los días 21 al 23 de septiembre en Bogotá, Colombia.

Para poder registrar su artículo deberá seguir el procedimiento que se encuentra en el instructivo adjunto a la presente. Registrando el artículo y habiendo validado la información solicitada su trabajo será publicado en las memorias de este congreso.

En breve le enviaremos la información completa sobre la dinámica del congreso, y en semanas próximas al evento el Programa General con la fecha, hora y sitio de la presentación de su artículo.

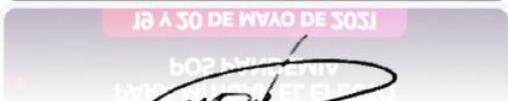
Para cualquier duda que pudiera surgir nos ponemos a sus órdenes en la siguiente dirección de correo electrónico secretario@somim.org.mx

En espera de que en el futuro podamos seguir contando con su decidida participación, reciba un cordial saludo.

Atentamente,

México Cd. Mx., a 9 de septiembre del 2022

Dr. Simón Martínez Martínez
PRESIDENTE DE LA SOMIM





WILLIAM FERNANDO PENAGOS NIVIAYO
DIRECTOR EJECUTIVO MESA IEST



La Red MESA IEST – Dimensión Académica
CERTIFICA QUE:

JUAN SEBASTIAN LUCERO SANABRIA

Documento de identidad: 1016099075

PARTICIPÓ EN CALIDAD DE PONENTE DE LA INVESTIGACIÓN:
ANÁLISIS DE EMISIONES Y FUNCIONAMIENTO DEL BIOETANOL EN UN
MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA CHEVROLET AVEO 1.6

EN REPRESENTACIÓN DEL SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN
SIGAE

Se otorga en la ciudad de Bogotá D.C., A los 19 días del mes de mayo del 2021



Bibliografía

- Anzola Tavera, M. E., Pérez Rosas, B. H., & Bravo, A. (12 de Diciembre de 2009). *Ministerio de industria y comercio - Bogotaturismo.gov.co*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de Ministerio de industria y comercio - Bogotaturismo.gov.co: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/Politica%20Turismo%20Social.pdf>
- fonseca medina Nestor Raul; Zabala Jose Mauricio. (2012). *Guia de inyeccion y sincronizacion* (Vol. I). Bogota D.C: ECCI.
- ABASTECIMIENTO), C. (. (17 de Agosto de 2013). *Conab.gov.br*. Obtenido de Conab.gov.br: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_leve.pdf
- Abramova, R. (2009). *Biocombustíveis a energia da controversia*. São Paulo: SENAC.
- Agencia Internacional de la Energía (Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE, iea.org/stats/index.asp). (12 de Febrero de 2019). *Banco Mundial BIRF-AIF*. Obtenido de Banco Mundial BIRF-AIF: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart>
- Alvarez Calvo, J. R., Saenz Camacho, C. e., & Torres Cespedes, L. A. (12 de Noviembre de 2007). *Instituto tecnologico de monterrey*. Obtenido de Instituto tecnologico de monterrey.
- Alvarez Calvo, J. R., Saenz Camacho, C. e., & Torres Cespedes, L. A. (12 de Noviembre de 2007). *Instituto tecnologico de monterrey*. Recuperado el 21 de mayo de 2022, de Instituto tecnologico de monterrey: <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/629543/33068001082150.pdf?sequenc>
- amaya, A. (1 de enero de 2018). ETI FUND. BIOCMBUSTIBLES. *Fundamentos de los biocombustibles*. Bogota D.C, Bogota D.C, Colombia: Universidad ECCI (UECCI).
- Autoavance. (28 de 07 de 2018). *Autoavance*. Obtenido de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/149-que-es-un-sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor-cmp>
- Aveo, M. T. (2008). *Inyeccion electronica chevrolet aveo*. Bogotá: GM.
- Boluda, C. J., Macías, M., & González Marrero, J. (2019). La complejidad química de las gasolinas de automoción. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, Vol. 2, No. 2, 9-10.

- Carpio rosantes, m., & cedillo sanchez, f. (21 de febrero de 2015). *dspace.ups*. Recuperado el 2022 de mayo de 06, de dspace.ups:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7817/1/UPS-CT004668.pdf>
- Carpio rosantes, m., & cedillo sanchez, f. (212 de febrero de 2015). *dspace.ups*. Recuperado el 2022 de mayo de 06, de dspace.ups:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7817/1/UPS-CT004668.pdf>
- Chile, P. U. (12 de Febrero de 2017). *Hrudnick.ing.uc.cl*. Obtenido de Hrudnick.ing.uc.cl:
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/mercados/Biocombustibles/pagina2.html>
- Codigos DTC . (11 de Junio de 2020). *Codigos DTC* . Obtenido de
<https://codigosdtc.com/sensor-tps/>
- Colombia, E. c. (2001). *Ley 693 de 2001* . Bogota D.C: Avance juridico Casa editorial Ltda .
- Company, T. M. (20 de Julio de 2003). *Tecnico de diagnostico - Sistema de mando motor Gasolina* . Obtenido de
<https://es.calameo.com/read/003170493e8789a0b859e>
- Concol. (29 de agosto de 2010). *wsp*. Obtenido de wsp:
<https://www.concol.com/content/programa-%E2%80%9Cflex-fuel%E2%80%9D>
- D´alessio,V . (12 de Octubre de 2019). *lifeder*. Obtenido de lifeder:
<https://www.lifeder.com/interpolacion-lineal/>
- Delgado, J. e., Delgado, J. J., & Perez, R. (2015). Perspectiva de los biocombustibles en colombia. *Revista de ingenierias- Universidad de Medellin*, 1-16.
- dos Santos Masson, I., Gravatim Costa, G. H., Pelegrini Roviero, J., & de Freitas, L. A. (12 de septiembre de 2015). *EBSCOhost*. Obtenido de EBSCOhost:
<http://ezproxy.ecci.edu.co:2106/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=a9d53db7-fa92-4ddc-93dc-62aebc8fe055%40sessionmgr101>
- dos Santos Masson, I., Gravatim Costa, G. H., Pelegrini Roviero, J., & de Freitas, L. A. (12 de septiembre de 2015). *EBSCOhost*. Recuperado el 21 de mayo de 2022, de EBSCOhost: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XS2021029698>
- Ecopetrol . (1 de Junio de 2017). *Ecopetrol.com.co*. Obtenido de Ecopetrol.com.co:
<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/boletines-2017/boletines-2017/bioenergy-inicio-comercializacion-etanol>
- Energia Solar. (12 de Junio de 2019). *Solar energia. net*. Obtenido de Solar energia. net:
<https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles>

- Fedebiocombustibles . (12 de Septiembre de 2016). *Fedecombustibles.gov*. Obtenido de Fedecombustibles.gov: http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm
- Fedebiocombustibles. (04 de abril de 2012). *fedebiocombustibles.org*. Recuperado el 26 de abril de 2019, de fedebiocombustibles.org: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-713.htm>
- Federacion colombiana de biocombustibles, a. (29 de abril de 2011). *Fedebiocombustibles*. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de Fedebiocombustibles: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-713.htm>
- Fisher scientific . (21 de Agosto de 2021). *Fisher scientific web site* . Obtenido de Fisher scientific web site : <https://www.fishersci.es/es/es/products/I9C8K46M/denatured-alcohols.html>
- Gnansounou, E., & Dauriat, A. (12 de Enero de 2005). *Ethanol fuel from biomass: a review. "Journal of Scientific and Industrial Research"*. Obtenido de Nova Deli, v.64, p.809-821.: <<http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/4983>
- Guias del participante modulo 3 ethanol response. (08 de agosto de 2017). *Características Físicas y químicas del etanol y combustibles de hidrocarburos* . Obtenido de Características Físicas y químicas del etanol y combustibles de hidrocarburos : <https://www.ethanolresponse.com/wp-content/uploads/2017/08/Gu%C3%ADa-del-Participante-Modulo-3-FINAL-2017.pdf>
- Icontec Internacional. (22 de 02 de 2012). *www.icontec.org.com*. Recuperado el 02 de 11 de 2021, de www.icontec.org.com: www.innovacionesiac.com/NTC-4983
- ICONTEC, N. (s.f.). *ICONTEC - Norma tecnica Colombiana 4983*. Obtenido de ICONTEC- Norma tecnica Colombiana 4983.
- Juan Mantilla, Carlos Galeano, Alejandro Muñoz. (12 de junio de 2016). *MUTIS*. Recuperado el 26 de abril de 2019, de Revistas utadeo: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1111/1159>
- KUNDIYANA D.K. (2016). *"Sorganol®": in-field production of ethanol*. Oklahoma, EE.UU: Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-graduação em Ciências, Universidade Estadual de oklahoma .
- Mariaca, A., Cendales, E., & Eslava, A. (5 de enero de 2015). *scielo.org*. Obtenido de scielo.org: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v26n1/v26n1a05.pdf>
- Mariaca, A., Cendales, E., & Eslava, A. (5 de enero de 2015). *scielo.org*. Recuperado el 21 de mayo de 2022, de scielo.org: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v26n1/v26n1a05.pdf>

Maryanaa, R., Ma'rifatun, D., & Wheni I.a, A. (21 de Julio de 2014). *El servier/Energy procedia - Science direct*. Obtenido de El servier/Energy procedia - Science direct: [https://pdf.sciencedirectassets.com/277910/1-s2.0-S1876610214X00056/1-s2.0-S1876610214002379/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEIT%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQDejlSp4rCL7oTAHQRFayK%2FIEptKXoUn4LqbDkAQeIQbAlhAKUYQOu7RM](https://pdf.sciencedirectassets.com/277910/1-s2.0-S1876610214X00056/1-s2.0-S1876610214002379/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEIT%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQDejlSp4rCL7oTAHQRFayK%2FIEptKXoUn4LqbDkAQeIQbAlhAKUYQOu7RM)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. (05 de Junio de 2008). *Ministerio de ambiente Mincit*. Obtenido de Ministerio de ambiente Mincit: www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146

Ministerio de minas y energia . (2009 de marzo de 31). *Ministerio de comercio,industria y comercio*. Obtenido de Ministerio de comercio, industria y comercio: <https://www.mincit.gov.co/temas-interes/reglamentos-tecnicos/ministerio-de-minas-y-energia/decreto-1135-de-2009.aspx>

Miño, C. a. (23 de Marzo de 2016). *Repositorio UIDE* . Obtenido de Repositorio UIDE : <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1012/1/T-UIDE-030.pdf>

Miño, C. I. (2009). Analisis de control y potencia Chevrolet aveo emotion. *Software Dynocom* .

nabalia_admin. (25 de Septiembre de 2018). *Energia viva nabalia* . Obtenido de Energia viva nabalia : <https://nabaliaenergia.com/combustibles-fosiles-que-son-y-tipos/>

oswald, U. (11 de mayo-agosto de 2017). *El servier* . Obtenido de Revista mexicana de ciencias politicas y sociales : <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S018519181730020X?token=1B55B70A117A441EFF20740C0C846FDF1AED3B5F0B3C8385306668289B10CD180CF2E8DF27AF7A0F1E5E2B753FD93A23>

Pardo Oñate, H. D. (13 de abril de 2020). *repositorio.escuelaing.edu*. Obtenido de repositorio.escuelaing.edu: [/bitstream/handle/001/1105/Pardo%20Oñate%2C%20Hernán%20David.-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bitstream/handle/001/1105/Pardo%20Oñate%2C%20Hernán%20David.-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

R.Cassianoa,* ,JoãoRibaub,* ,Francisco Sales A.Cavalcantea,* ,Mona Lisa M.Oliveiraa,* ,Carla M.Silvab,* ,. (18-21 de Abril de 2016). *Science direct/El servier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.253>

RENOVETEC. (12 de Junio de 2013). *Plantas de Biomasa* . Obtenido de Plantas de Biomasa : <http://www.plantasdebiomasa.net/bioetan.html>

República de Colombia Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (12 de julio de 2008). *Sistema de informacion de petroleo y*

gas colombiano. Obtenido de Sistema de informacion de petroleo y gas colombiano:
http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Demanda/Transporte/proyeccion_demanda_comb_trans_terr_jul_2008.pdf

Revista motor . (12 de marzo de 2017). *Motor.com.co*. Obtenido de Motor.com.co:
www.motor.com.co

rodrigo, D. (2008). *Termodinamica Automotriz*. Riobamba: ESPOCH.

Rodriguez Rueda, J. F. (21 de Diciembre de 2015). *Repositorio Unal* . Obtenido de Repositorio Unal :
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55502/1013597743.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santos , F., Eichler , P., De Queiroz , J., & Gomes , F. (2020). Sugar Cane Biorefinery, Technology and Perspectives. *Academic Press- Science direct* , 195 - 228 .

Simona . (17 de Agosto de 2009). *Topspeed* . Obtenido de Topspeed:
<https://www.topspeed.com/cars/chevrolet/2007-chevrolet-aveo-ar12542.html>

Sostenible, S. (03 de septiembre de 2019). *semana sostenible* . Obtenido de Semana sostenible : <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/gases-toxicos-del-sector-petrolero-generan-contaminacion-en-colombia/46598>

SUBDIRECCIÓN DE PLANEACIÓN ENERGÉTICA GRUPO DE DEMANDA ENERGETICA. (2008). *“PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA PARA EL SECTOR TRANSPORTE”*. Bogota D.C : Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia.

Teacher created Materials. (2018). La Historia de los Combustibles Fosiles. En W. B. Rice, *History of fossil Combustion*. (pág. 33). Huntington Beach - California: Shell Educations.

Tenempaguay guaman, Rolando Ivan . (22 de Febrero de 2015). *Analisis teorico para la implementacion del sistema FLEX-FUEL* . Recuperado el 21 de Mayo de 2022, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4283/1/10841.pdf>

Tenempaguay guaman, Rolando Ivan . (21 de Febrero de 2015). *dspace.uazuay.edu*. Obtenido de dspace.uazuay.edu:
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4283/1/10841.pdf>

Turns, S. R. (2000). *An introduction to combustion concepts and applications* . Singapore: McGrawHill.

twenergy . (18 de noviembre de 2019). *twenergy* . Obtenido de twenergy:
<https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/la-electricidad-frente-al-combustible-2734/>

Unidad de planeacion minero energetica. (12 de Junio de 2015). *Plan energetico nacional colombia: ideario energetico 2050*. Recuperado el 15 de marzo de 2022, de Plan energetico nacional colombia: ideario energetico 2050:
http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf

Universidad ECCI. (12 de Junio de 2020). Guia N°3 - Solenoide de marcha minima (Universidad ECCI). Bogota D.C, Colombia.

x-engineer.org. (2016 de enero de 16). *Air fuel Ratio - Lambda Facts*. Obtenido de x-engineer.org: <https://x-engineer.org/air-fuel-ratio/#comment-1232>

v