

Obtención de alcohol a partir del tallo de maíz para aplicación como combustible
alternativo en MCI.

Juan Francisco Ortega Tapia

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Juan Francisco Ortega Tapia, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad
Internacional SEK; Director Ingeniero Santiago Celi.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

santiago.celi@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, JUAN FRANCISCO ORTEGA TAPIA, con número de cédula de identidad 171432867-9, declaro bajo juramento que el trabajo desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional, y que todo lo que se ha consultado tiene sus referencias bibliográficas respectivas que incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

JUAN FRANCISCO ORTEGA TAPIA
C.I: 1714328679

Agradecimiento

Agradezco a mis padres Geovanno Ortega y Alba María Tapia por ser la base y el pilar de mi vida, agradezco por todo el amor, cariño, entrega y aprendizaje que han suministrado en mi camino. Doy gracias a mis hermanos Esteban Ortega, Geovanny Ortega, Ricardo Ortega que han sabido aconsejarme, apoyarme y brindarme mucho conocimiento para la realización de mi tesis. También agradezco a Victoria Ortega que me brindó ayuda en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK y finalmente a mi tutor el Ing. Santiago Celi

Dedicatoria

A mis papis Geovanno Ortega y Alba María Tapia, que me brindaron todo su apoyo y tiempo, y la gran oportunidad de estudiar.

Contenido

Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
Resumen	11
Abstract.....	12
Introducción.....	13
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
Marco Teórico	15
Biocombustible.....	15
Bioetanol.....	17
Propiedades del etanol	18
Proceso de producción del bioetanol.....	18
Biocombustibles primera y segunda generación.....	20
Gasolina.....	22
Estado del arte.....	23
Método.....	26
Preparación de la levadura activa	28
Fermentación	29
Equipo y materiales	30
Procedimiento.....	31
Procedimiento.....	33
Ensayos realizados en el motor	36
Características del vehículo de prueba	40
Ensayo de torque y potencia.....	40
Procedimiento.....	43
Ensayo de emisiones dinámicas	51
Procedimiento.....	55
Ensayo de consumo de combustibles	57
Ensayo emisiones estáticas.....	61
Resultados.....	64

Ensayos experimentales.....	64
Adecuación de la materia prima.	64
Fermentación.	64
Resultados de la destilación.....	69
Ensayo final.....	71
Adecuación de la materia prima.	71
Fermentación y Destilación.....	71
Deshidratación.	72
Torque y Potencia.....	72
Emisiones Dinámicas.	75
Consumo de Combustible.....	79
Emisiones estáticas.	82
Análisis y discusión de resultados.....	84
Conclusiones.....	90
Recomendaciones.....	91
Bibliografía.....	92

Índice de figuras

Figura 1. Desfibrilación tallo de maíz	27
Figura 2. Molienda tallo maíz.....	28
Figura 3. Levadura activa seca Levapan	29
Figura 4. Fermentadores Facultad de Ingeniería Ambiental UISEK.....	30
Figura 5. Brixometro y phmetro	31
Figura 6. Medición de azúcares del mosto	32
Figura 7. Equipo de destilación simple	34
Figura 8. Elaboración de óxido de calcio.	35
Figura 9. Dinamómetro de rodillos	41
Figura 10. Pupitre de comunicaciones y Ordenador con software MAHA.....	42
Figura 11. Caja de interfaces	43
Figura 12. Anclaje del automóvil al dinamómetro	44
Figura 13. Sonda de temperatura.....	44
Figura 14. Curvas de potencia combustible súper	46
Figura 15. Curva de torque combustible súper.....	47
Figura 16. Curvas de potencia biocombustible E50	49
Figura 17. Curvas de torque del Biocombustible E50.....	50
Figura 18. Ensayo Americano IM240	51
Figura 19. Analizador de gases MGT5.....	52
Figura 20. Sensor de revoluciones.....	54
Figura 21. Ducto de emisión de escape	54
Figura 22. Sonda de gases de escape	55
Figura 23. Ventilador de refrigeración	55
Figura 24. Sonda y ducto de escape para el análisis de gases	56
Figura 25. Simulación ciclo IM240.....	57
Figura 26. Probeta graduada de 1000 mL.....	58
Figura 27. Tanque presión de combustible.....	59
Figura 28. Conexión de tanque de presión en el riel de inyección.....	60
Figura 29 Ensayo estático gases	62
Figura 30. Variación °Brix Ensayo 1	66
Figura 31. Variación pH Ensayo 1	67
Figura 32. Variación °Brix Ensayo 2	67

Figura 33. Variación pH Ensayo 2	68
Figura 34. Variación °Brix Ensayo 3	68
Figura 35. Variación pH Ensayo 3	69
Figura 36. Comparación de las potencias máximas	74
Figura 37. Comparación de variación de la potencia en función al combustible súper .	74
Figura 38. Comparación torque máximo.....	75
Figura 39. Comparación de variación del torque en función al combustible súper	75
Figura 40. Comparación de CO entre gasolina súper y biocombustible E50.....	76
Figura 41. Comparación de CO ₂ entre gasolina súper y biocombustible E50.....	77
Figura 42. Comparación de HC entre gasolina súper y biocombustible E50.....	77
Figura 43. Comparación de O entre gasolina súper y biocombustible E50	78
Figura 44. Comparación de NO _x entre gasolina súper y biocombustible E50.....	78
Figura 45. comparación lambda	79
Figura 46. Comparación de consumo de combustible entre gasolina súper y biocombustible E50	81
Figura 47. Porcentaje de variación de rendimiento del biocombustible en función al combustible súper.....	82
Figura 48 Comparación en ralentí CO%	83
Figura 49. Comparación ralentí de HC ppm	83

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades del etanol.....	17
Tabla 2. Parámetros gasolina súper y extra	22
Tabla 3. Mediciones y parámetros del proceso de fermentación	32
Tabla 4. Hoja de proceso de destilación	34
Tabla 5 Datos técnicos pupitre de comunicación	37
Tabla 6 Datos técnicos PC.....	38
Tabla 7 Juego de rodillos.....	38
Tabla 8. Datos técnicos rodillos de la serie R200/2	39
Tabla 9. Especificaciones técnicas vehículo.....	40
Tabla 10. Sonda de temperatura datos técnicos.....	42
Tabla 11. Ensayo de potencia gasolina súper	45
Tabla 12. Ensayo Torque gasolina súper	46
Tabla 13. Ensayo potencia biocombustible E50.....	48
Tabla 14. Ensayo de torque biocombustible E50	49
Tabla 15. Datos técnicos analizador de gases MGT5.....	52
Tabla 16. Datos consumo de combustible gasolina súper	60
Tabla 17. Datos consumo de combustible etanol	61
Tabla 18. Datos ensayo estático gasolina súper	63
Tabla 19. Datos de ensayo estático etanol.....	63
Tabla 20. Resultados fermentación 0 horas	65
Tabla 21. Resultados fermentación 72 horas	65
Tabla 22. Porcentaje de reducción de cantidad de azúcar	69
Tabla 23. Resultados de la destilación	70
Tabla 24. Cantidad primera destilación	70
Tabla 25. Fermentación del ensayo final.....	71
Tabla 26. Ensayo final resultados de la primera destilación	71
Tabla 27. Ensayo segunda destilación simple	72
Tabla 28. Resultados Torque y Potencia gasolina súper	73
Tabla 29. Resultados Torque y Potencia biocombustible E50	73
Tabla 30. Resultados emisiones dinámicas gasolina súper	75
Tabla 31. Resultados emisiones dinámicas biocombustible E50	76
Tabla 32. Resultado consumo de combustible súper.....	79

Tabla 33. Consumo de combustible gasolina súper	79
Tabla 34. Resultado consumo de combustible E50	80
Tabla 35. Consumo de combustible E50	80
Tabla 36. Comparación consumo y rendimiento combustibles.....	81
Tabla 37. Emisiones estáticas gasolina súper	82
Tabla 38. Emisiones estáticas bioetanol E50	82

Resumen

En el presente trabajo de titulación, se obtuvo alcohol a partir del tallo de maíz mediante fermentación alcohólica con el fin de aplicarlo como combustible en un motor de combustión interna. El proyecto se dividió en dos partes, la primera parte indicó el procedimiento para la obtención de alcohol a partir del tallo de maíz tipo *Zea mays L* y la segunda el desarrollo de los ensayos de torque, potencia, consumo de combustible, emisiones dinámicas y estáticas en un motor de combustión interna(MCI).

En la obtención de alcohol se adecuó la materia prima para obtener el jugo y combinarlo en una proporción de 1% (v/v) con las levaduras tipo *Saccharomyces cerevisiae*, con el fin de realizar la fermentación alcohólica y obtener etanol como combustible mediante destilaciones simple.

En la segunda parte se realizaron los ensayos de torque y potencia por el método de plena carga, emisiones estáticas por el método NTE INEN 2004, emisiones dinámicas y consumo de combustible por medio del ciclo IM240, en un automóvil modelo Spark de cilindraje 995 cc con gasolina súper y biocombustible E50. Además, se realizaron comparaciones de los parámetros obtenidos en los ensayos entre estos dos combustibles. Finalmente, en el proceso de obtención de etanol, se obtuvo una cantidad de 1810 mL de etanol con un porcentaje de alcohol del 91° a partir de 54 L de jugo de tallo de maíz, el cual fue utilizados para el proceso de ensayos de motor, obteniendo que el biocombustible E50 produce menor cantidad de CO, CO₂, HC hacia el ambiente que el combustible súper, pero emite mayor cantidad de NOx que el combustible súper, además el biocombustible E50 consume menor cantidad de combustible que la gasolina súper.

Palabras clave: Tallo de maíz, motor de combustión interna, biocombustible, etanol. fermentación.

Abstract

In the present work, alcohol was obtained from the corn stem by alcoholic fermentation in order to apply it as fuel in an internal combustion engine. The project was divided into two parts, the first part indicated the procedure for obtaining alcohol from the corn stem type *Zea mays* and the second the development of the tests of torque, power, fuel consumption, dynamic and static emissions in an engine of internal combustion (MCI). In the obtaining of alcohol, the raw material was adapted to obtain the juice and was combined in a proportion of 1% (v / v) with the yeasts type *Saccharomyces cerevisiae*, in order to carry out the alcoholic fermentation and obtained ethanol as fuel through distillations simple

In the second part the power and power tests were carried out by the full load method, static emissions by the NTE INEN 2004 method, dynamic emissions and fuel consumption by means of the IM240 cycle, in a Spark model 995 cc engine with Super gasoline and biofuel E50. In addition, comparisons were made of the parameters obtained in the tests between these two fuels.

Finally, in the process of obtaining ethanol, an amount of 1810 mL of ethanol was obtained with a percentage of alcohol of 91 ° from 54 L of corn stem juice, which was used for the engine testing process , obtaining that the biofuel E50 produces less amount of CO, CO₂, HC to the environment than the super fuel, but emits the greater amount of NO_x than the super fuel, in addition the biofuel E50 consumes less quantity of fuel that the super.

Key words: Corn stalk, internal combustion engine, biofuel, ethanol. fermentation

Introducción

En la década de 70s emergió una idea, el reemplazo de combustibles fósiles por combustibles alternativos debido a la primera crisis del petróleo y la de reducir las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna (MCI) hacia el ambiente. Estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe conocido como CEPAL, ubicada en Santiago de Chile indicaron que “En el 2012, 13.200 millones de galones de etanol producidos redujeron las emisiones de los gases de efecto invernadero en 33,4 millones de toneladas. Eso equivale a quitar 5,2 millones de coches y camiones de las calles durante un año.”

Desde ese entonces algunos países como Estados Unidos con el 54.7 % de la producción mundial de bioetanol y Brasil con un 33,2 % según el Organismo de las Naciones Unidas datos del 2009, invierten en la elaboración y estudio de combustibles alternativos los cuales provienen de diferentes sectores agrícolas que se dedican a la producción de maíz y caña de azúcar respectivamente, conocidos como combustibles alternativos de primera generación (CEPAL, 2009).

Estos combustibles alternativos de primera generación, han generado mucha controversia en el mundo en el ámbito ambiental, económico y social. Primero, según Jerry Melillo, científico de Marine Biological Laboratories y presidente del Instituto de Evaluación Nacional del clima, afirma que sí existe un aumento de la industria de biocombustibles puede crear un impacto significativo en ecosistemas naturales, generando deforestación debido a la gran cantidad de tierra que se necesita para obtener la materia prima para elaborar el biocombustible. “Tenemos 148 millones de km² de tierras en el planeta, y 16 millones de ese total son usados en cultivos, formar una red mundial de etanol exigiría, como el mínimo, el doble de eso”. (Wharton Business School, 2013).

Segundo, los biocombustibles de primera generación son aquellos que utilizan materia prima destinada para la industria alimenticia, generando un efecto sobre los precios de los alimentos y perjudicando a los sectores más vulnerables. Investigadores de la Universidad de California afirman que en el año 2007 “El etanol elevó los precios del maíz en, al menos, un 18% y tal vez hasta un 39%, los biocombustibles fueron responsables de un 25% a un 60% del aumento de precio del maíz.” (Wharton Business School, 2013). Y por último para satisfacer la gran demanda de los mercados de biocombustibles los agricultores hacen uso del monocultivo el cual erosiona y degrada el suelo, como es el caso de Brasil en la ciudad de Sao Paulo.

En la actualidad se presenta una nueva propuesta de reemplazar los combustibles alternativos de primera generación por los combustibles alternativos de segunda generación en los MCI. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que utilizan como materia prima, biomasa comercializada y utilizada en la industria alimenticia, logrando solucionar los problemas que presenta los biocombustibles de primera generación mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos para su producción.

En el Ecuador el maíz suave choclo (*Zea mays L*) es un alimento básico en la dieta de la población y ha incrementado su producción nacional en un 68.43% entre el año 2000 al 2012. Durante el censo que se realizó en el año 2012, el maíz presentó 69 mil hectáreas de cosecha dando como resultado la producción de 73 mil toneladas de maíz. (Ministerio de Agricultura y Ganadria, Acuacultura y Pesca, 2013).

De este maíz suave choclo solo es aprovechado la mazorca que representa el 11,8 %(p/p) (Pasturas de América, 2016), la cual es destinada principalmente para la alimentación humana y en menor medida para los animales del ganado, en tanto que el tallo que representa el 17,6 %(p/p) de la planta de maíz, no es utilizado para la

alimentación, convirtiéndose en un residuo orgánico poco utilizado en la industria alimenticia. (Pasturas de América, 2016). Con el fin de aprovechar este residuo orgánico, el presente proyecto se enfocó en el desarrollo de un biocombustible de segunda generación, a partir de la fermentación del tallo de maíz con el propósito de aplicarlo en un MCI.

Objetivo general

Obtener alcohol a partir del tallo de maíz mediante fermentación alcohólica para su análisis en un motor de combustión interna a partir de los ensayos de torque, potencia, consumo de combustible, emisiones estáticas y dinámicas en un MCI.

Objetivos específicos

Realizar la fermentación del jugo de tallo de maíz tipo *Zea mays L* mediante *Saccharomyces cerevisiae* en una proporción de 1% (v/v) para la obtención de etanol como combustible.

Aplicar el método de separación por destilación simple para la obtención de alcoholes superiores a 90° y la posterior realización de los ensayos de motor.

Aplicar el método de plena carga los ensayos de torque, potencia y emisiones estáticas mediante el método NTE INEN 2004 en un automóvil marca Chevrolet Spark de 995 cc con gasolina súper y biocombustible.

Ejecutar el ensayo IM240 en un automóvil marca Chevrolet Spark de 995 cc con gasolina súper y biocombustible para determinar el consumo de combustible y las emisiones de CO, CO₂, HC, O₂, NO_x y el factor lambda.

Comparar las emisiones dinámicas, consumo de combustible, potencia y torque, entre la gasolina súper y el biocombustible.

Marco Teórico

Biocombustible.

El biocombustible se define como, combustible que utiliza o tiene como origen materia prima orgánica para su elaboración, como por ejemplo el etanol de la caña de

azúcar y el biodiesel de aceites vegetales. Hoy en día los biocombustibles más utilizados en la industria automotriz son el bioetanol y el biodiesel. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

Los biocombustibles datan del siglo XIX a partir de la invención del automóvil, desde ese entonces empresarios como Henry Ford empezaron a utilizar como combustible el etanol proveniente del maíz para el funcionamiento de su automóvil modelo T, del mismo modo ingenieros como Rudolf Diésel hicieron uso de aceite vegetal proveniente del maní para que sus motores diésel puedan funcionar. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

Este tipo de combustibles de origen orgánico empezaron a decaer en la industria, puesto que su almacenamiento, transporte y elaboración resultaban costoso, además en el año 1895 inició la era del petróleo, acabando con la idea de la utilización de materia orgánica para la realización de combustibles. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

Desde ese entonces el petróleo es una de las materias primas por excelencia más utilizadas para la elaboración de diferentes tipos de combustibles, hasta que en los años 70s ocurrieron dos acontecimientos importantes en la historia para que la industria óptese y empezara a hacer uso de los biocombustibles.

Primero la crisis del petróleo causó un incremento de precio significativo en esta materia prima, dando como resultado un sobreprecio de todos los derivados del petróleo especialmente en la gasolina y diésel. En consecuencia, países como Estados Unidos y Brasil decidieron no solo depender del petróleo para la elaboración de combustibles, sino la utilización de materias primas orgánicas con el fin de controlar el uso de

recursos no renovables y mantener estable los precios del petróleo. (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009).

Segundo el aumento de la industria automotriz generó grandes problemas ambientales, debido a la gran cantidad de gases contaminantes producidos por la quema de combustibles fósiles. Países como los Estados Unidos recurren a los biocombustibles con el propósito de reducir las emisiones contaminantes hacia el ambiente, estableciendo nuevas leyes y normas tales como la utilización de bioetanol en la gasolina hasta una cantidad de 5 billones de galones en el año 2012. (Beta Analytic, 2018).

Bioetanol.

El Bioetanol es un biocombustible de origen orgánico, que se elabora mediante un proceso llamado fermentación. Hoy en día este tipo de combustible es utilizado en diferentes proporciones o porcentajes en los motores de combustión interna, con el propósito de reducir las cantidades de emisiones contaminantes hacia el ambiente y mantener estable el precio del petróleo.

El bioetanol actualmente es uno de los biocombustibles más elaborados a nivel mundial, los países que más producen el bioetanol son Brasil con el 45%, USA 44% y por último China con el 6 %. El primero elabora su etanol mediante la fermentación de la caña de azúcar, USA utiliza como materia prima el maíz mediante un proceso llamado hidrólisis el cual ayuda a obtener glucosa para que después esta se pueda fermentar y dar como producto final el etanol. (Gracia, 2009). A continuación, se indica en la tabla 1 las propiedades del etanol.

Tabla 1.

Propiedades del etanol

Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	798kg/m ³ ;0,789 g/cm ³
Masa molecular	46,07 g/mol
Punto de fusión	158,9 K(-114,3°C)
Punto de ebullición	351 K(78,4°C)
Temperatura crítica	514 (°C)
Viscosidad	1,074 mPa+s a 20°C
Acidez (pKa)	15,9
Solubilidad en agua	Miscible
Punto de inflamabilidad	286K(13°C)
NFPA 704	
Temperatura de autoignición	636k(°363C)
Frases R	R11 R61
Frases S	S2 S7 S16
Límites de explosividad	3,3 al 19 %

Nota: Valores en el SI y en condiciones estables o normales (0°C y 1 atm), Salvo que se indique lo contrario; Fuente: (Bullon, 2012)

Proceso de producción del bioetanol.

Existen diferentes materias primas orgánicas con las cuales se puede producir bioetanol como es el caso del maíz, remolacha, residuos orgánicos y caña de azúcar entre otras. Por motivos de estudio se va a explicar el procedimiento de la producción de bioetanol de caña de azúcar el cual se va implementar en el proyecto, para la obtención de etanol a partir del tallo de maíz.

La producción de bioetanol de caña de azúcar consta de cuatro pasos fundamentales: la adecuación del material, fermentación alcohólica, destilación primaria, destilación secundaria y deshidratación con óxido de calcio CaO.

La adecuación del material no es el proceso de preparación de la caña de azúcar para que esta se encuentre lista y preparada para la fermentación, consta de tres pasos.

Primero se realiza la extracción de hojas y raíces de la caña con el propósito de que solo quede el tallo de la caña de azúcar. Segundo se colocan las cañas en rodillos de acero inoxidable para la extracción del jugo. Finalmente se coloca el jugo de la caña en fermentadores o también conocidos como biorreactores para empezar su fermentación.

La fermentación alcohólica es un proceso biológico anaerobio es decir sin presencia de oxígeno, en el cual actúan las enzimas del microorganismos las cuales se encargan de degradar los hidratos de carbono para dar como producto final etanol y CO_2 . En el proceso de fermentación el jugo proveniente de la caña es mezclado en un biorreactor junto con los microorganismos para que se encarguen del proceso fermentativo. El biorreactor o fermentador es un recipiente de almacenamiento que contiene un ambiente biológico activo, controlando ciertos parámetros como temperatura, agitación, presión y especialmente mantiene el contenido en anaerobiosis para que los microorganismos actúen en el mosto.

Hoy en día el microorganismo más comercializado para la elaboración de etanol es el *Saccharomyces cerevisiae* que significa “floritura que fermenta la azúcar”. Esta levadura es la encargada de transformar los hidratos de carbono tales como glucosa, fructosa, sacarosa en etanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) y dióxido de carbono (CO_2).

La destilación es un proceso de separación de varios fluidos en una mezcla en estado líquido, conociendo la volatilidad relativa de los componentes que desean separarse con el fin de obtener los fluidos de forma individual. El mosto es colocado en el destilador, este inicia la fase de calentamiento con el fin de transformar de estado líquido a gaseoso. La sustancia más volátil en este caso el alcohol, inicia su fase de evaporación aproximadamente a los $78,5\text{ }^\circ\text{C}$. El alcohol en estado gaseoso asciende por un condensador que se encarga de enfriar por medio de un refrigerante con el fin de

condensar el líquido, finalmente el alcohol en estado líquido llega a un recipiente para almacenarlo. (Calderón, 2007).

Biocombustibles primera y segunda generación.

La producción de combustibles líquidos a partir de la biomasa es una de las tendencias de hoy en día. Estos tipos de combustibles alternativos presentan un crecimiento en la industria automotriz debido a sus beneficios ambientales y en algunos casos por el incremento de potencia y torque del motor. En el campo de los biocombustibles existen dos tipos, los de primera generación y segunda generación los cuales presentan ciertas ventajas y desventajas.

Los combustibles de primera generación como se mencionó anteriormente son aquellos fluidos elaborados a partir de biomasa, especialmente materia agrícola destinada para la alimentación humana y ganadera. Las materias primas más utilizadas para la elaboración de los biocombustibles son; caña de azúcar, maíz y la soja (Naik & Rout, 2009).

Ventajas de los combustibles de primera generación:

- En los biocombustibles de primera generación existe la tecnología adecuada para su elaboración, logrando establecer un precio asequible y competitivo con los combustibles fósiles.
- La materia prima de los combustibles de primera generación está disponible en todo el mundo.

Desventajas de los combustibles de primera generación:

- El combustible de primera generación utiliza materia prima agrícola que es destinada en la industria alimenticia, aumentando los precios de los alimentos.
- Se necesita espacios de cultivo extensos para suplir la demanda de biocombustibles, ocasionando daños en la biodiversidad.
- Da lugar al monocultivo provocando la erosión de los suelos.

Los biocombustibles de segunda generación se definen como combustibles derivados de materia prima que no es utilizada para la alimentación. Este tipo de biocombustibles pertenecen a una nueva era de biocombustibles que no afecten a la industria alimenticia y logra aprovechar los residuos orgánicos.

Ventajas de los combustibles de segunda generación

- Los combustibles de segunda generación aprovechan los residuos orgánicos para su elaboración.
- Son más amigables con el ambiente que los combustibles de primera generación.
- Se hace uso de nuevas especies que no son utilizadas para la industria alimenticia, acabando con el incremento de precios de los alimentos provocado por los combustibles de primera generación.

Desventajas de los combustibles de segunda generación

- Los combustibles de segunda generación necesitan tecnología más avanzada para su elaboración, transformándose en combustibles poco competitivos con el mercado debido a su alto precio.

Gasolina.

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos de origen fósil que se obtiene a partir de la destilación fraccionada del petróleo, utilizada principalmente como fuente de energía en MCI. Posee una densidad de 680 g/L y una cantidad de energía de 34,78 MJ (Ecured, 2018). En el Ecuador existen tres tipos de gasolinas según la cantidad de octanaje las cuales se encuentran reguladas por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN). (Rocha, Tipanluisa, & Llanes, 2017). Estos tres combustibles deben cumplir con ciertos parámetros y características para su comercialización en el país como se indica en la Tabla 2.

- a) gasolina de 87 octanos (RON).
- b) gasolina de 93 octanos (RON).
- c) gasolina de 93 octanos (RON).

Tabla 2.

Parámetros gasolina súper y extra

Parámetros	Gasolina súper	Gasolina Extra
Numero octano (RON)	87	93
Contenido de plomo orgánico (g/l)	Max. +0,013	Max. +0.013
Presión de vapor reíd(kpa)	Max.56	Max. 56
Residuo(% vol)	Max.2	Max.2
Cont. Azufre (ppm)	Max.0,2	Max.0,2
Cont. gomas (mg/100ml)	Max.4	Max.5
Cont. De aromáticos (% vol)	Max.20	Max.30
Cont. Benceno (% vol)	Max.1.0	Max. 2.0
Cont. D olefinas (% vol)	Max.20	Max.25
Estabilidad a la oxidación (min)	Min>240	Min>240

Fuente: (Encalada & Pablo, 2010).

Estado del arte.

Hoy en día por la alta demanda y producción de automóviles de MCI que hay en el mercado automotriz, los cuales generan una excesiva cantidad de emisiones contaminantes hacia el ambiente, se implementan nuevas formas de preservar el cuidado del medio ambiente a través de nuevas investigaciones de los combustibles alternativos, como por ejemplo el bioetanol a partir de residuos orgánicos. Los países que más implementa esta nueva tecnología de la producción de combustibles alternativos son Estados Unidos y Brasil.

Estados Unidos es el primer productor de bioetanol del mundo con un 54.7 % de la producción mundial, Estados Unidos utiliza como materia prima principal el grano de maíz para la producción del bioetanol. En segundo lugar, se encuentra Brasil con un 33,2 % de la producción mundial, la materia prima utilizada para la producción de biocombustibles proviene de las plantaciones de caña de azúcar. (Gracia, 2009).

En el caso del Ecuador se producen dos tipos de biocombustibles el ECOPAIS y el biodiesel. Por motivos de estudio solo se describirá el combustible ECOPAIS. El ECOPAIS se encuentra constituido por la producción de bioetanol, la producción de gasolina bases y gasolina con alto contenido de octanaje en la destilación del petróleo. El bioetanol en el Ecuador es elaborado principalmente por tres empresas Codana, Soderal y Producargo. Las dos primeras utilizan como materia prima el jugo de caña proveniente de las plantaciones de caña de azúcar. Y la tercera Producargo utiliza como materia prima la miel b la cual es un subproducto de la realización de azúcar. Y en el caso de la producción de combustible base y combustible con alto octanaje es realizado por la empresa pública EP Petroecuador (Guayaquil, 2014).

El ECOPAIS es un biocombustible que está formado por tres combustibles:

- Gasolina base 50 %.
- Gasolina con alto octanaje 45%.
- Bioetanol 5%.

Este biocombustible en el año 2014 logró vender 3000 a 12000 barriles por día en las estaciones de servicio de la ciudad de Guayaquil, Daule y Durán.

Actualmente las casas comerciales automovilísticas dedican su tiempo a la investigación para reducir la cantidad de emisiones contaminantes provocado por los automóviles y el de reducir el consumo de combustible, pero sin que exista la disminución de parámetro como la potencia y torque, por ende, estas han optado por la utilización de nuevos biocombustibles en diferentes proporciones para conocer su comportamiento, desempeño y eficiencia de cada una de las combinaciones posibles entre gasolina y bioetanol.

Entre las proporciones más utilizadas en el mercado automotriz sin modificar los parámetros del motor se encuentran los E5 y E10. Y en el caso de motores modificados la proporción más utilizada es la E85. Estos biocombustibles no solo reducen la cantidad de emisiones hacia el ambiente también generan un beneficio en la potencia y torque del motor.

El biocombustible E5 es una mezcla habitual utilizada especialmente en el continente europeo. Estas mezclas contienen 5% de etanol y 95% de gasolina, genera grandes beneficios en las emisiones contaminantes. El biocombustible E10 es una mezcla de 10% de bioetanol y 90% de gasolina, este tipo de mezcla es muy utilizada en Estados Unidos de América puesto que hasta este porcentaje los motores no requieren ninguna modificación para su utilización. El E10 presenta el beneficio de aumentar el

octanaje de la gasolina generando un aumento de la potencia, torque y la reducción de emisiones contaminantes (Botero & Roa, 2011).

El biocombustible E85 es una mezcla que se encuentra compuesta por 85% de bioetanol y un 15% de gasolina, este tipo de mezcla solo es utilizada por motores especiales conocidos como Flexible Fuel Vehicles (FVV). Ente las marcas que utilizan este tipo de sistema se encuentran Hummer, Buick Chevrolet y Cadillac, Mercedes-Benz, Renault Nissan y Toyota. (Botero & Roa, 2011).

Método

El proyecto titulado “Obtención de Alcohol a Partir de Tallo de Maíz para la Aplicación como Combustible Alternativo en un MCI” consta de varios procedimientos con diferentes ensayos, experimentos y pruebas realizados en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK y en los laboratorios del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional.

Materia prima

El maíz produce una gran cantidad de biomasa de la cual solo es utilizada en forma de grano, materias como caña, hojas, limbos y mazorca en algunos casos son utilizadas para la alimentación del ganado, pero en la mayoría de casos estas estructuras de la planta son desperdiciadas. Los residuos que se generan en el cultivo de maíz se encuentra entre 20 a 35 toneladas por hectárea y en el caso del tallo representa entre 16 a 25 toneladas por hectárea.

En el caso del Ecuador como se mencionó anteriormente no existe una buena disposición de los residuos de maíz, en la industria alimenticia solo se utiliza la mazorca la cual representa solo el 11,8 % (p/p) en peso de la planta, lo demás es desperdiciado. En este proyecto se utiliza el tallo de maíz el cual representa el 17,6 % (p/p), con el fin de aprovechar este residuo obteniendo un biocombustible para los MCI. (Pasturas de América, 2016).

La materia prima utilizada para la obtención del biocombustible proviene de la caña o tallo del maíz suave tipo *Zea mays L* de la provincia de Pichincha, distrito metropolitano de Quito parroquia Quinche. Este tipo de maíz suave posee una altura de planta de 1,85 m, es sembrado en toda la sierra ecuatoriana, sus condiciones

agroecológicas son una altitud entre 2200 a 3000 msnm, temperatura de 10 a 20 °C, precipitación de 700 a 1300 mm en todo el ciclo y requiere de suelos profundos, ricos en materia orgánica y con un buen drenaje según el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias. (INIAP, 2014).

El tallo de maíz utilizado en esta investigación a nivel molecular se encuentra compuesto por 4 estructuras celulosa, hemicelulosa, lignina y azúcares. La celulosa es un polímero que recubre las paredes celulares de la planta, está compuesta por una formación de glucosa unidas entre sí. La hemicelulosa es un conjunto de polisacáridos insolubles en agua. La lignina es un conjunto de láminas que se encuentra en las capas de la pared celular y se encarga del transporte del agua y nutrientes, y los azúcares son hidratos de carbono de una molécula monosacárido o de dos moléculas conocidas como disacáridos (CUASPUD, 2017).

Desfibrilación y molienda tallos de maíz.

Adquirida la materia prima se empezó a desfibrilar la caña de maíz, extrayendo sus hojas y espigas del tallo como se indica en la Figura 1. A continuación cada tallo es cuidadosamente lavado con agua para retirar cualquier residuo de tierra y suciedad provenientes del ambiente.



Figura 1. Desfibrilación tallo de maíz

Posteriormente se colocaron en la balanza digital los tallos para medir el peso de la materia prima. dando como resultado 24,3 kg.

Pesados los tallos, se muelen en un trapiche o extractor de jugo de caña. Cada tallo se colocó en un mecanismo de rodillos estriado de acero inoxidable como se muestra en la Figura 2. Los rodillos estriados son encargados del proceso de compresión de la materia orgánica, estos generan la presión adecuada para lograr moler y extraer el jugo de caña. En la fase final de compresión el jugo de caña es filtrado en un tamiz con 1mm de diámetro de poro. Finalmente, con la ayuda de una probeta graduada de 1000 mL se tomó el volumen del jugo de caña extraído. Se obtuvieron 10 L de jugo de tallo de maíz a partir de 24,3 kg de tallos de maíz.



Figura 2. Molienda tallo maíz

Preparación de la levadura activa

El proceso de fermentación se realiza mediante microorganismos que transforman la glucosa en etanol y CO₂. El microorganismo más utilizado en la industria de bebidas con grado alcohólico es el tipo *Saccharomyces cerevisiae* el cual se lo encontró en forma de levadura para repostería y/o panadería.

Para el proyecto se utilizó la levadura activa seca marca Levapan Figura 3, que tiene como ingredientes *Saccharomyces cerevisiae* y agua. Para activar la levadura se disolvió 175 g de levadura activa seca con 40 gramos de azúcar en $\frac{1}{4}$ de litro de agua tibia entre 30 a 35 °C de acuerdo a las indicaciones del empaque.

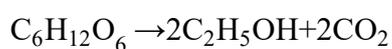


Figura 3. Levadura activa seca Levapan

El jugo de caña de maíz debe ser mezclado con el preparado de levadura activa, la cual se la conoce como mosto. Esta mezcla debe estar en proporción de 1% (v/v) de levaduras activas (Martín & Manuel Camps, 2002). En este caso se mezcló 10 mL de levadura activa por 1 L de jugo de caña.

Fermentación

El proceso de fermentación alcohólica se realiza en condiciones anaerobias mediante el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* con el objeto de transformar la glucosa en etanol y dióxido de carbono como se indica a continuación



[1]

El proceso de fermentación constó de 10 ensayos experimentales de 1000 mL de mosto en diferentes condiciones de temperatura y agitación magnética con el propósito de determinar eficiencias y cantidades del bioetanol. Para después realizar el ensayo final de obtención de bioetanol de tallo de maíz.

Equipo y materiales

En el proceso de fermentación se utilizaron los siguientes equipos disponibles en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

- Fermentadores.

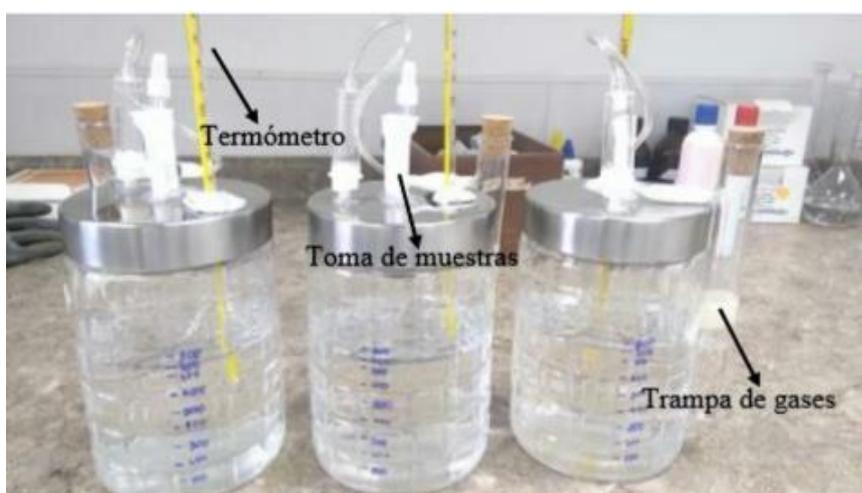


Figura 4. Fermentadores Facultad de Ingeniería Ambiental UISEK

Cada fermentador como se observa en la Figura 4, posee una capacidad óptima de 1000 mL, un ducto de salida de CO_2 , una toma de temperatura y un ducto para la extracción de muestras.

- pHmetro digital marca HACH serie HQ40d, Figura 5.
- Refractómetro digital MERRLER TOLEDO serie 30GS, Figura 5.
- Plancha calefactora
- Magneto



Figura 5. Brixometro y phmetro

Procedimiento

Primero se colocaron 1000 mL de mosto en cada uno de los fermentadores junto con un agitador magnético, el agitador magnético ayudó a agitar el mosto en el proceso de fermentación. Posteriormente se tomaron medidas a las 0 horas de fermentación de la cantidad de azúcar, pH y temperatura de cada uno de los ensayos por medio del pHmetro y refractómetro digital como se indica en la Figura 6.



Figura 6. Medición de azúcares del mosto

Tomadas las medidas, se tapa cada uno de los fermentadores para mantener condiciones anaeróbicas. Finalmente, los fermentadores son colocados en la plancha calefactora controlando los parámetros de temperatura y agitación como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3.

Mediciones y parámetros del proceso de fermentación

Numero de ensayo	pH	°Brix	°T inicial °C	Velocidad de agitación rpm	°T de Fermentación °C
1	4,83	11,2	20,2	60	20
2	4,94	12,7	20,6	60	20
3	5,47	13,2	21,1	500	20
4	5,12	11	19,5	0	35
5	5,60	11,6	19,8	700	30
6	5,61	11,5	19,9	500	30
7	5,67	11,5	20,5	500	30
8	5,22	13,8	19,8	700	30
9	5,22	13,7	19	700	30
10	5,22	14	19,7	700	30

Fuente: autoría

Cada uno de los ensayos de fermentación permanecieron en condiciones de anaerobiosis durante todo el proceso fermentativo. El proceso de cada ensayo tuvo una duración de 72 horas de fermentación el cual es el tiempo óptimo de fermentación alcohólica como lo indica (Farjado & Sarmiento, 2007) , excepto el ensayo numero 2 el cual tuvo una duración de 48 horas de fermentación.

Conocidos los rendimientos y las cantidades de etanol, se realizó un ensayo final para la obtención del bioetanol para aplicarlo en los ensayos de torque, potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible.

Destilación

La destilación es un proceso de separación de dos o más componentes en una solución, en el proyecto se aplicó la destilación binaria, para la separación de dos componentes agua y etanol. Durante el proceso de destilación se mantuvo una temperatura entre 75 °C a 90 °C tomando en cuenta la temperatura de evaporación del etanol y del agua.

Para el proceso de destilación se utilizó los siguientes equipos y materiales disponibles en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

- Plancha calefactora
- Balón de destilación de 1000 mL
- Columna de fragmentación
- Condensador tipo rosario
- Adaptador de termómetro
- Acoples y codos
- Mangueras de caucho
- Termómetro

Procedimiento

Primero se midieron los parámetros de cantidad de azúcar y pH con el refractómetro y pHmetro a las 72 horas de fermentación excepto el ensayo número 2 que fue medido a las 48 horas.

Segundo se armaron dos equipos de destilación conectados entre sí como se observa en la Figura 7 con los equipos y materiales mencionados anteriormente.



Figura 7. Equipo de destilación simple

Cada balón de destilación fue llenado con 500 mL del fermento, considerando los 2/3 de su capacidad y expuesto a una temperatura de 300 °C proporcionados por la estufa calefactora. Durante el proceso de destilación, cada ensayo se describió las siguientes cuantificaciones llenando la siguiente hoja de proceso de destilación presentada en la Tabla 4, donde: V_0 : es el volumen del mosto V_f : Volumen resultado de la destilación, $^{\circ}T$: temperatura inicial. T_f : temperatura final, T_{pgota} : tiempo de la primera gota, T_f : tiempo final de destilación. % alcohol: grado alcohólico y Color: Color del destilado.

Tabla 4.

Hoja de proceso de destilación

	Inicio	Final
V_0 =		V_f
$^{\circ}T_0$ =		$^{\circ}T_f$ =
T_{pgota} =		T_f =
Color =		% alcohol=

Los ensayos experimentales fermentados fueron destilados para conocer el rendimiento y cantidad de etanol obtenido en el proceso de fermentación indicados en la sección de resultados. Conocidos los rendimientos y las cantidades de etanol se realizó un ensayo final para la obtención del bioetanol para la utilización en los ensayos de torque y potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible.

Deshidratación

La deshidratación fue aplicada al ensayo final para obtener un mejor porcentaje de alcohol en nuestro biocombustible. En este proceso de deshidratación del etanol, se utilizó el método de secado con cal. El método utiliza el óxido de calcio que tiene como característica principal la de ser un buen secante, el cual constó de cuatro pasos.

Primero se debe obtener óxido de calcio como se indica en la ecuación 2

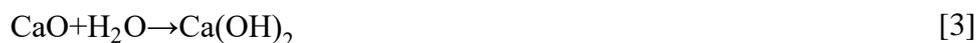


El carbonato de calcio fue oxidado a altas temperaturas por medio de un soplete como se indica en la Figura 8 para obtener óxido de calcio.



Figura 8. Elaboración de óxido de calcio.

Segundo el óxido de calcio se mezcló con el etanol dando como resultado la siguiente ecuación 3.



En este proceso el óxido de calcio absorbe la cantidad de agua que se encuentra en el etanol formando hidróxido de calcio y etanol. Puesto que el hidróxido de calcio no es soluble en alcohol se forman una fase líquida constituida por el etanol y una fase sólida constituida por el hidróxido de calcio. Tercero se dejó reposar la mezcla aplicando el proceso de decantación para separar la mezcla. Finalmente, con la ayuda de un papel filtro se filtró la mezcla formada de hidróxido de calcio. (Mathewson, 1980).

Realizado el proceso de deshidratación se obtiene el bioetanol para la realización de los ensayos de torque y potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible en un vehículo.

Ensayos realizados en el motor

Los ensayos realizados en el motor de 995 cc son una fuente importante para determinar el rendimiento y el desempeño del biocombustible con respecto a la gasolina súper, mediante el análisis de sus parámetros y curvas características del motor. Estos ensayos fueron realizados en un banco conocido como dinamómetro de rodillos, que determinan magnitudes como torque, potencia, emisión de gases en la combustión en forma estática y dinámica y finalmente la cantidad exacta de combustible utilizado en el proceso de combustión.

El dinamómetro es el encargado de simular condiciones reales de ruta mediante carga parcial o plena carga, para obtener las curvas características del motor y conocer los parámetros del automóvil. Para la realización de los ensayos en el dinamómetro,

primero tomara los parámetros o magnitudes físicas a través de sensores. Los sensores son encargados de captar las variables físicas y transformarlas en señales eléctricas, a su vez estas señales eléctricas son transformadas o adecuadas en una magnitud normalizada para que finalmente sean mostradas y almacenadas en un ordenador que el operario pueda observar y analizar. (Francisco & José, 2011). Para los diferentes tipos de ensayos del proyecto se utilizó un banco de pruebas, conocido como dinamómetro de chasis o dinamómetro de rodillos.

El dinamómetro de chasis es una máquina compuesta principalmente por un ordenador de comunicaciones, un juego de rodillos y la plataforma en la cual es colocado el vehículo. El dinamómetro utilizado en el proyecto es de marca MAHA serie LPS 3000 consta de las siguientes características:

- Pupitre de comunicaciones, Tabla 5

Tabla 5

Datos técnicos pupitre de comunicación

Pupitre de comunicación	Parámetros	Unidades
Monitor de color	19" diámetro diagonal	in
Dimensiones pupitre de comunicación (AN x AI x L)	600x1850x800	mm
Dimensiones de embalaje(L x An x AI)	2360x960x870	mm
Peso incl. Embalaje	Aprox. 250	kg
Laca por recubrimiento de polvo	Azul, RAL 5010	-

Alimentación	400V, 50	Hz
Apto para multiprocesador	Si.	-
Apto para multimarca	Si.	-

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA

- PC Tabla 6

Tabla 6

Datos técnicos PC

PC	Parámetros	Unidades
CPU	Procesador as partir de 800	MHz
Placa madre	Conexión USB	-
Memoria RAM	256	Mb
Disco duro	4	Gb
Unidades de disco	CD-ROM>32x	
Tarjeta grafica	Resolución 800x600 con 64000 colores	-
Sistema operativo	Windows XP Professional	-

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA Juego de rodillos (*Haldenwan, 2018*)

Los juegos de rodillos del dinamómetro tipo LPS 3000 marca MAHA, están compuestos de un bastidor auto portante con recubrimiento de polvo y rodillos metalizados con la llama presenta las características indicadas en la Tabla 7 y 8.

Tabla 7

Juego de rodillos.

Juego de rodillos de la serie R200

Juego de rodillos	Vehículos de ensayo	Comentario
R200/2	Coches/camiones/furgonetas/buses	-

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (*Haldenwan, 2018*)

Tabla 8.

Datos técnicos rodillos de la serie R200/2

Rodillos Serie R200/2	Parámetros	Unidades
Juego de rodillos	R200/2	-
Carga sobre el eje	15	T
Longitud	2260 por rodillo	mm
Ancho	1100	mm
Altura	865	mm
Peso	Aprox. 1250 por rodillo	kg
Longitud de rodillo	900	mm
Vía min.	1000	mm
Vía max.	2800	mm
Diámetro mínimo de ruedas para ensayar	12	In
Diámetro de rodillos	318 mm/565 mm	mm
Sobreelevación rodillos	--	-
Sistema neumático		-
Sistema hidráulico	Si	-
Datos corr. Parasita	2 x 200Kw	kW
Alimentación	400V/ 50 Hz	Hz
Protección por fusible	35 A lento	-
Velocidad de ensayo	Max. 200	km/h
Potencia rueda	30 – max. 400	kW
Fuerza de tracción	Max. 15	kN
Numero de revoluciones	10- 100	rpm
Precisión de medición	+/- 2% del valor de medición	

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (*Haldenwan, 2018*)

En el presente proyecto se realizaron los ensayos de torque, potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible en un vehículo de marca Chevrolet modelo Spark año 2016 con dos combustibles, gasolina súper comercializada en Ecuador en la ciudad de Quito y biocombustible al 50 % de caña de maíz.

Características del vehículo de prueba

Los ensayos de torque y potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible se realizaron en un vehículo con las siguientes características.

Tabla 9.

Especificaciones técnicas vehículo

Marca: Chevrolet	Modelo: Spark
Torque: 91/4200 N·m/rpm	Potencia: 65/5400 HP/rpm
Cilindrada y numero de cilindros: 995 y cuatro cilindros	Modelo del motor: Spark 1.0 5P
Disposición de cilindros: en L	Posición del motor: Motor delantero
Combustible: Gasolina	Tracción: delantera
Tonelaje: 0,41	País de origen: Colombia
Designación tamaño de neumáticos: 165/65R13	
Tipo de frenos: Disco delanteros y tambores trasero	Numero de ejes: 2

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (*Haldenwan, 2018*)

Ensayo de torque y potencia

Los ensayos de torque y potencia determinan en forma gráfica las magnitudes de torque y potencia de un motor en función del régimen de revoluciones para conocer las prestaciones y rendimientos del vehículo. En el proyecto se realizaron tres ensayos por cada combustible, el ensayo utilizado se denomina ensayo de curvas características a plena carga.

El ensayo de curvas características a plena carga de un motor de encendido provocado (MEP) se realiza a la tasa máxima de inyección de combustible. Este método consta en acelerar el vehículo con el pedal a fondo para alcanzar la velocidad conocida como “corte de rpm” (4500 – 6000 rpm). (Rocha C. , 2015).

El ciclo de manejo del ensayo fue indicado en el ordenador con el propósito de que el operario cumpla los parámetros y pasos adecuados para la obtención de datos correctos. Este ciclo inició cuando el vehículo se encuentra a una velocidad aproximada de 25 mph es decir a 40 km por hora, hasta llegar a la quinta relación de marcha entre 4500-6000 rpm. Una vez alcanzada la máxima rpm, el ordenador indica al operario colocar marcha en inercia el vehículo para finalizar el ciclo e indicar los datos obtenidos durante el ciclo. (Rocha C. , 2015).

Para el ensayo de torque y potencia se utilizó un dinamómetro de rodillos indicado en la Figura 9, sensor de temperatura de aceite, encargado de medir la temperatura del motor y que presenta los datos técnicos en la Tabla 10, ordenador o PC en la Figura 10, y finalmente una caja de interfaces como se observa en la Figura 11, que cumple con la función de registrar las medidas tomadas de los sensores de temperatura, revoluciones colocados en el automóvil.



Figura 9. Dinamómetro de rodillos



Figura 10. Pupitre de comunicaciones y Ordenador con software MAHA

Tabla 10.

Sonda de temperatura datos técnicos

Sonda de temperatura de aceite	
Longitud variable	100 a 1500 mm
Tapón de cierre	Si
Cable de alimentación	6 m

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (Haldenwan, 2018)



Figura 11. Caja de interfaces

Procedimiento

Antes de la realización de la prueba primero se colocó el vehículo en la plataforma del dinamómetro encima de los rodillos, consecutivamente el vehículo se sujetó por medio de barras de tiro en el bastidor del automóvil como se indica en la Figura 12.

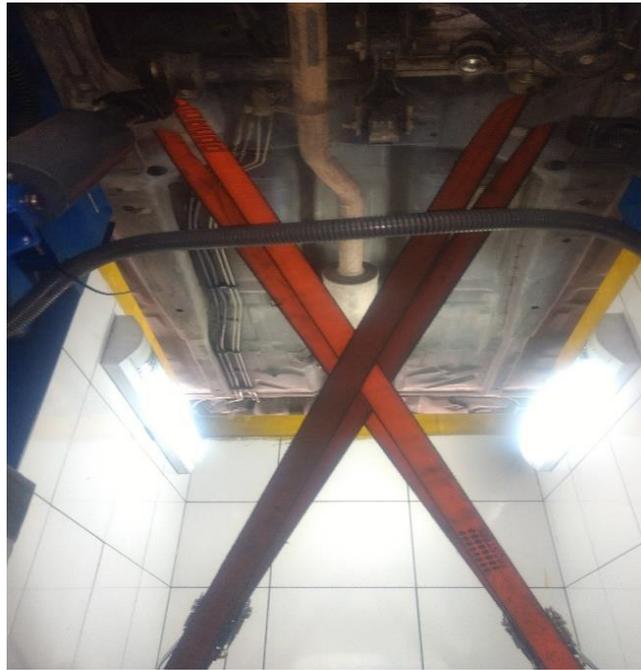


Figura 12. Anclaje del automóvil al dinamómetro

Inmediatamente se colocó el vehículo de manera correcta en el dinamómetro de chasis y se procedió a situar el vehículo en la temperatura de servicio. El sensor o la sonda de temperatura fue colocado en la varilla de aceite como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Sonda de temperatura.

Para iniciar a realizar los ensayos de torque y potencia es importante que el vehículo se encuentre a temperatura de servicio. Esta fue indicada en el ordenador del dinamómetro en este caso la temperatura de servicio marco 198 °F (92 °C).

Finalmente, el operario calificado realizó el ensayo descrito en el ordenador como se indicó en el apartado de ensayo de torque y potencia. A continuación, se muestran en la Tabla 11 y en la Figura 14 las magnitudes y curvas de la potencia de los ensayos con combustible súper. También en la Tabla 12 y en la Figura 15 se detallan las magnitudes y las curvas del torque obtenidas mediante el ensayo de plena carga con el combustible súper.

Tabla 11.

Ensayo de potencia gasolina súper

rpm	Potencia ensayo 1 [HP]	Potencia ensayo 2 [HP]	Potencia ensayo 3 [HP]
2400	22,7	23,7	23,6
2500	24,1	25,1	25
2600	25,4	26,4	26,3
2700	26,5	27,3	27,3
2800	27,4	28,2	28,3
2900	28,2	29	29,1
3000	28,8	29,5	29,7
3100	29,2	29,8	30
3200	29,8	30,4	30,5
3300	30,7	31,2	31,2
3400	31,6	32,1	31,9
3500	32,5	33,1	32,6
3600	33,4	34,1	33,7
3700	34,5	35,3	34,8
3800	35,9	36,9	36,4
3900	37,5	38,3	37,9
4000	39,1	39,8	39,4
4100	40,7	41,5	41,1
4200	42,2	43,3	42,8
4300	43,7	44,7	44,2
4400	45,4	46,1	45,6
4500	47,1	47,6	47,1
4600	49	49,4	48,6
4700	50,9	50,8	50,1
4800	52,6	51,4	51
4900	53,5	51,8	51,4
5000	53,3	52,6	51,9
5100	53,4	53,5	52,9

5200	53,6	54,5	53,9
5300	54,5	55,7	54,8
5400	55,6	56,6	55,8
5500	56,5	57,5	56,6
5600	57,9	0	0
5700	58,9	0	0

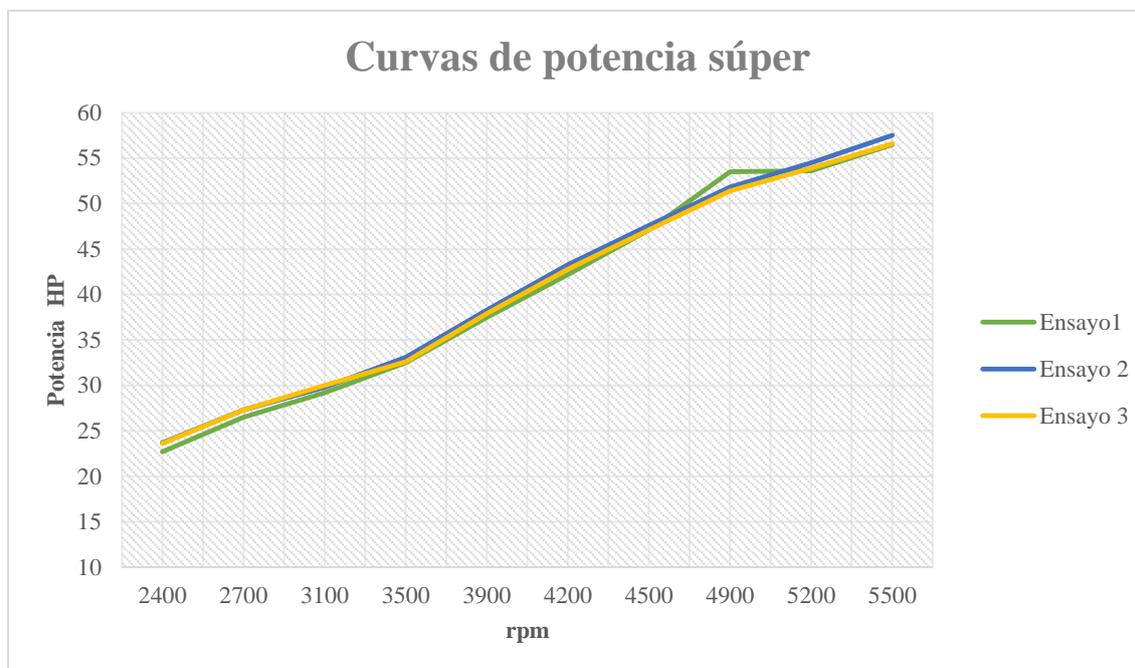


Figura 14. Curvas de potencia combustible súper

Tabla 12.

Ensayo Torque gasolina súper

rpm	Torque ensayo 1 [HP]	Torque ensayo 2 [HP]	Torque ensayo 3 [HP]
2400	49,6	51,8	51,6
2500	50,6	52,7	52,5
2600	51,3	53,3	53,1
2700	51,5	53,1	53,1
2800	51,4	52,9	53
2900	51	52,6	52,6
3000	50,5	51,6	52
3100	49,5	50,5	50,9
3200	48,9	49,8	50
3300	48,8	49,6	49,7
3400	48,8	49,7	49,2
3500	48,8	49,6	49
3600	48,7	49,7	49,1
3700	49	50,2	49,4
3800	49,7	50,9	50,3

3900	50,6	51,6	51,1
4000	51,4	52,3	51,7
4100	52,2	53,2	52,6
4200	52,8	54,1	53,5
4300	53,3	54,6	54
4400	54,2	55	54,5
4500	55	55,5	55
4600	55,9	56,4	55,5
4700	56,9	55,8	55,9
4800	57,6	56,3	55,8
4900	57,3	55,5	55,1
5000	55,9	55,3	54,5
5100	55	55,1	54,5
5200	54,1	55,1	54,4
5300	54	55,2	54,3
5400	54,1	55	54,2
5500	54	54,9	0
5600	54,3	0	0
5700	54,3	0	0

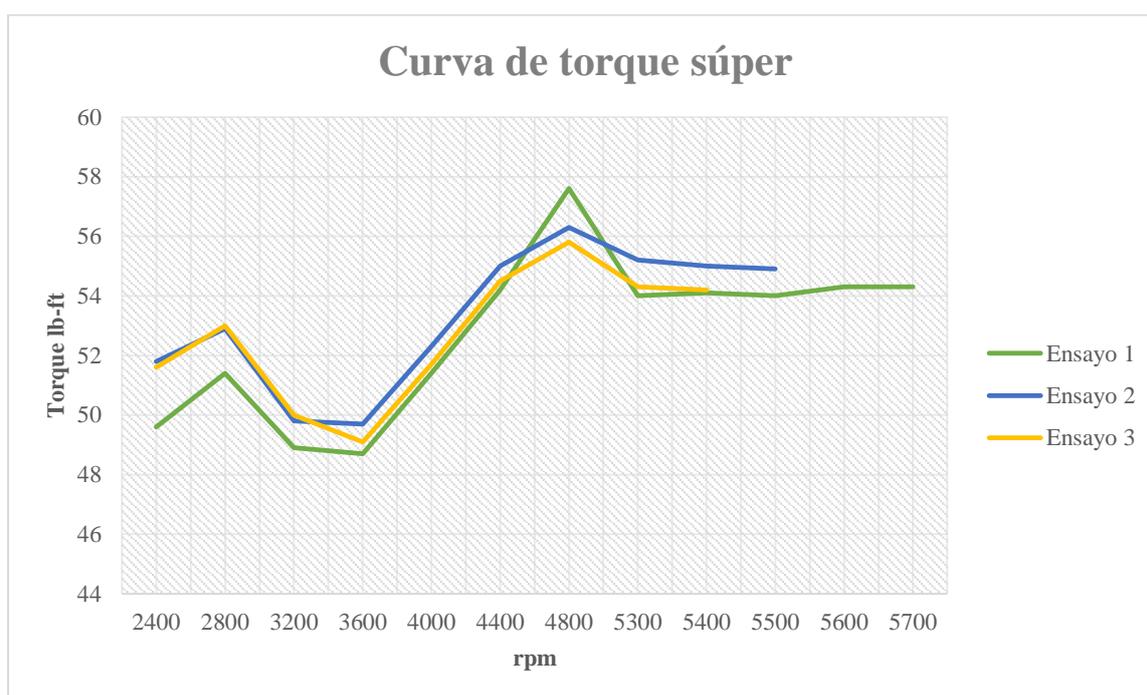


Figura 15. Curva de torque combustible súper

Realizados los ensayos con gasolina súper se procedió a ensayar el bioetanol de 91° alcohólicos. En este ensayo se utilizó en el automóvil 100% de bioetanol en el motor denominado como E100. El ensayo a plena carga al 100 % de bioetanol no mantuvo el motor en condiciones estables, el automóvil no poseyó la suficiente

capacidad y energía para mover los rodillos del dinamómetro de chasis, la potencia y torque no fueron lo suficiente para realizar el ensayo.

El segundo ensayo a plena carga del bioetanol se realizó al 90% bioetanol y 10 % de gasolina súper denominado E90. De la misma forma que el ensayo al 100%, este no presentó la suficiente potencia y torque necesaria para mover los rodillos del dinamómetro de chasis para realizar las pruebas.

Por último, se realizó un ensayo al 50% de etanol y lo restante gasolina súper conocido como E50. Esta mezcla fue capaz de mantener al motor en condiciones adecuadas y temperatura de operación para realizar de manera adecuada el ensayo a plena carga. A continuación, se muestra los valores y curvas de potencia en la Tabla 13 y Figura 16 respectivamente y las magnitudes y curvas de torque en la Tabla 14 y Figura 17 del biocombustible E50.

Tabla 13.

Ensayo potencia biocombustible E50

rpm	Potencia Ensayo 1 [HP]	Potencia Ensayo 2 [HP]	Potencia Ensayo 3 [HP]
2300	17,7	17,1	18,6
2400	18,6	17,3	19,3
2500	19,3	18	20
2600	20	19,1	20,9
2700	19,9	20,1	21,7
2800	20,1	19,9	21,8
2900	20,7	19,9	22,3
3000	21,9	21,5	23,6
3100	22,5	22,3	24,5
3200	22,8	22,4	24,9
3300	23,9	23,3	25,8
3400	25,2	25	27,3
3500	26,8	26,6	28,5
3600	28,2	27,1	29,4
3700	28,7	27,6	30,3
3800	29,3	28,8	31,6
3900	30,4	30	33
4000	31,4	31,6	34,6
4100	32,1	33	35,8
4200	33	34,3	36,9
4300	33,7	34,7	37,4
4400	34,1	34	37,9
4500	34	33,5	37,5
4600	33,5	33,3	37,4

4700	34,5	34,8	38,8
4800	35,1	37,3	40,6
4900	35,3	39,9	43
5000	37,8	41,7	44,2
5100	39,6	43,1	45,4
5200	41	43,6	46,7
5300	41,6	45,2	47,1
5400	42,5	45,9	48,2

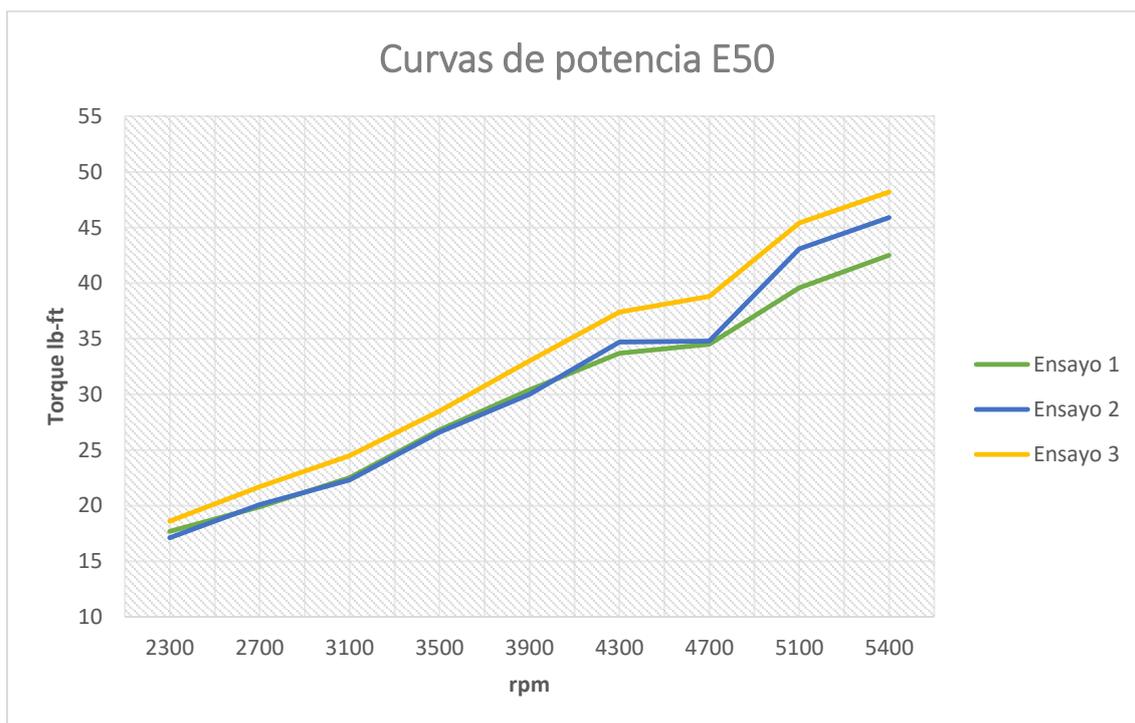


Figura 16. Curvas de potencia biocombustible E50

Tabla 14.

Ensayo de torque biocombustible E50

rpm	Torque Ensayo 1 [HP]	Torque Ensayo 2 [HP]	Torque Ensayo 3 [HP]
2300	40,3	39,1	42,6
2400	40,8	37,8	42,3
2500	40,6	37,9	42,1
2600	40,3	38,6	42,1
2700	38,7	39,1	42,2
2800	37,7	37,4	40,9
2900	37,4	36	40,4
3000	38,4	37,6	41,3
3100	38,2	37,7	41,5
3200	37,4	36,8	40,8
3300	38,2	37,1	41

3400	39	38,6	42,1
3500	40,2	39,7	42,8
3600	41,1	39,5	42,8
3700	40,7	39,1	43
3800	40,5	39,8	43,7
3900	40,9	40,4	44,4
4000	41,2	41,5	45,5
4100	40,7	42,3	45,8
4200	41,3	42,8	46,1
4300	41,2	42,3	45,7
4400	40,7	40,6	45,3
4500	39,7	39,1	43,8
4600	38,3	38,1	42,7
4700	38,5	38,8	43,4
4800	38,4	40,8	44,4
4900	37,8	42,8	46,1
5000	38,7	43,8	46,5
5100	40,7	44,4	46,8
5200	41,4	44	47,3
5300	41,2	44,8	46,7
5400	41,4	44,6	46,8

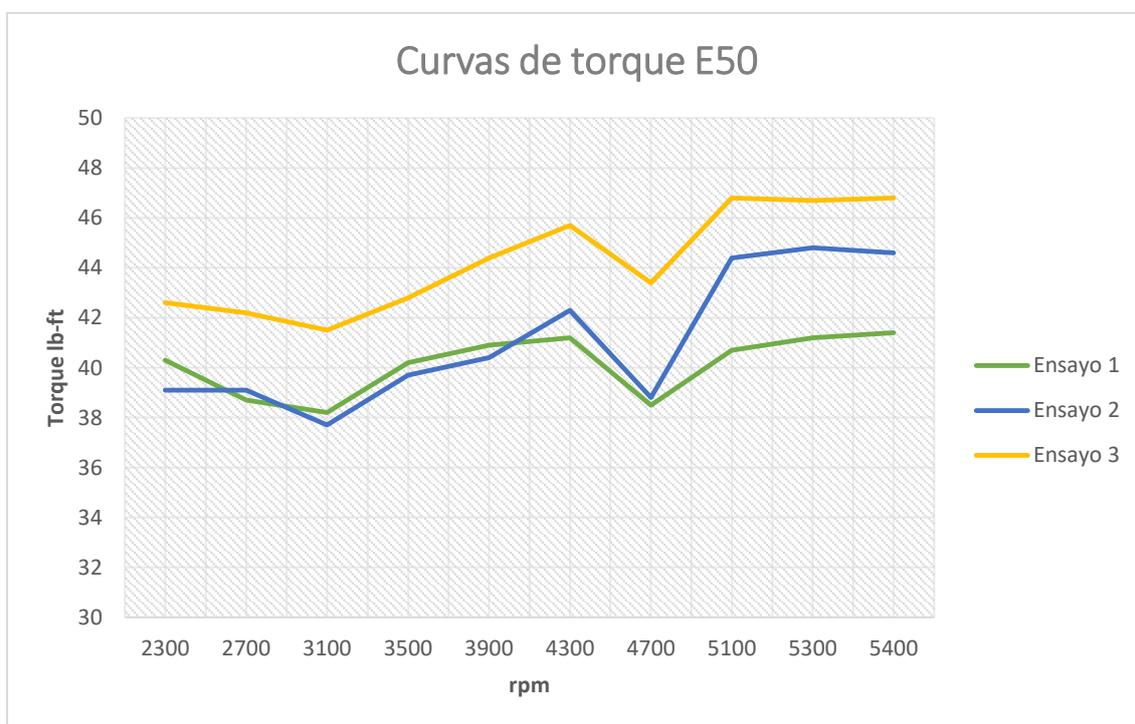


Figura 17. Curvas de torque del Biocombustible E50

Ensayo de emisiones dinámicas

El ensayo de emisiones dinámico es un método que se realiza por medio de aplicación de cargas en el motor en diferentes relaciones de marcha, con la finalidad de determinar los gases residuales producto de la reacción de combustión del motor como se observa en la figura 18. Este ensayo dinámico ayuda a determinar los porcentajes y partes por millón de cinco gases residuales en la combustión CO, CO₂, HC, O₂, NO_x y el factor lambda.

En el presente proyecto se aplicó el ensayo dinámico americano conocido como IM240. El ensayo IM240 pertenece a los ensayos dinámicos transitorios, este ensayo se realiza en vehículos livianos en un dinamómetro de chasis por medio de un ciclo de manejo de 240 segundos. Durante este tiempo el analizador de gases se encarga de medir los gases mencionados anteriormente para finalmente registrar en el ordenador las mediciones.

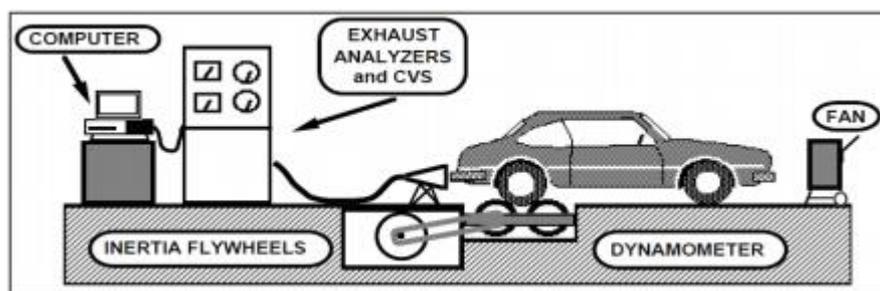


Figura 18. Ensayo Americano IM240

El ciclo IM240 consta de un tiempo de 240 segundos que simula un recorrido en zona urbana de 3.2 km a una velocidad media de 30 km/h y una máxima de 91 km/h.

Para la realización del ciclo se realizó una fase preliminar que consta de los siguientes pasos. Primero se efectuó una operación estacionaria a 2500 rpm en un tiempo máximo de 4 minutos, después se aplicó una operación en estado estable a una velocidad de 30 mph 48(km/h) por un tiempo de 4 minutos y por ultimo una operación dinámica transitoria. Además antes de realizar las mediciones de gases del vehículo, se colocó el automóvil en la temperatura de servicio. (Francisco & José, 2011).

En el ensayo dinámico de emisiones se utilizó un analizador de gases de la marca MAHA serie MGT5 Figura 19, el cual presenta en la Tabla 15 sus especificaciones técnicas. Sensor de temperatura descrito en el apartado anterior de ensayo de potencia y torque, dinamómetro y sus equipos descrito anterior de ensayo de

potencia y torque, un sensor de revoluciones Figura 20, ducto succionador de emisiones de escape Figura 21, sonda de escape Figura 22 y por ultimo un Ventilador de refrigeración Figura 23.



Figura 19. Analizador de gases MGT5

Tabla 15.

Datos técnicos analizador de gases MGT5

Gases analizables	CO	CO ₂	HC	O ₂	NOx
Rango de medición	0-15,00 vol %	0-20,0 vol %	0-2000 ppm (hexano) 0-4000 ppm propano	0-25,00 vol %	0-5000 ppm vol %
Precisión de medida	0,06 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm vol	0,1 Vol %	32-120 ppm vol según rango de medición

Principio de medida	Infrarrojo	Infrarrojo	Infrarrojo	Electroquímico	Electroquímico
Resolución valores de medida	0,001 Vol %	0,01 Vol %	0,1 ppm vol	0,01 Vol %	1 ppm vol
Deriva del rango de med	Inferior a +- 0,6 % del valor final del rango de medición				
Fase de precalentamiento	min.30 minutos, max. 10 minutos regulado por temperatura				
Nivel de electricidad para mediciones de gas	3 L/min				
Nivel de electricidad	Automática, continuada aprox. 1 L/min				
Presión de servicio	750- 1100 mbar				
Variación de la presión	Max. Error 0,2% para variaciones de 5kPa				
Alimentación de corriente	85 v- 280 v 50 Hz 65 W				
Cuenta revoluciones p. inducción	0- 10000/min- 1 Resolución 1,5,10, 0 50 rpm				
Temperatura de servicio	+5 °C - +45 °C Desviación +- 2°C				
Temperatura de almacenaje	-10 °C - +60 °C Desviación +- 2°C				
Termómetro del aceite	+0°C - +150 °C Resolución 1				
Prueba de hermeticidad	Guiada por menú, 1x al día				

Prueba de HC residuales	Automático
Ajuste cero	Automático
Calibración	Semestralmente

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (Haldenwan, 2018)



Figura 20. Sensor de revoluciones



Figura 21. Ducto de emisión de escape

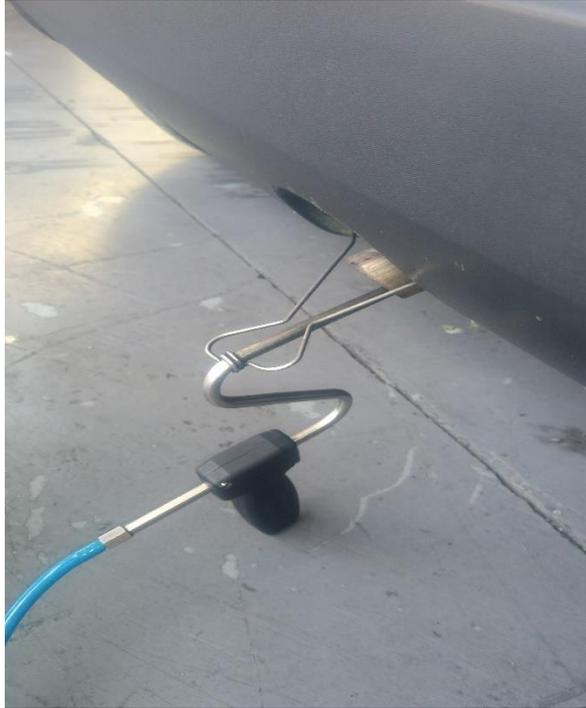


Figura 22. Sonda de gases de escape



Figura 23. Ventilador de refrigeración

Procedimiento

El vehículo deberá estar colocado en la plataforma del dinamómetro como se describió anteriormente en el ensayo de torque y potencia. A continuación, se procedió

a colocar la sonda del analizador de gases en el escape y el ducto succionador de gases de escape como se puede apreciar en la Figura 24.



Figura 24. Sonda y ducto de escape para el análisis de gases

Se colocó el sensor de revoluciones en el tapa válvulas del motor para después posicionar el ventilador de refrigeración entre 1 a 2 m de distancia del vehículo como indica el fabricante. (Haldenwan, 2018).

Colocados todos los equipos y efectuados los parámetros de la fase preliminar y la temperatura adecuada de operación se empezó a realizar el ensayo IM240.

El ensayo IM240 se mostró en pantalla para que el operario pueda seguir los parámetros y procedimientos adecuados para la ejecución del ciclo de ruta tal como se indica en la Figura 25. Finalmente, el ordenador presenta en pantalla los valores de los gases de todo el ciclo.



Figura 26. Probeta graduada de 1000 mL

- Tanque de presión de combustible

El tanque de presión detallado en la Figura 27 sirve para almacenar el combustible medido con la probeta graduada y generar la presión adecuada para el riel de inyección. El tanque consta de dos mangueras, una de entrada y una de salida y una bomba manual que genera la presión de inyección de combustible.



Figura 27. Tanque presión de combustible

Procedimiento

Como se mencionó en apartados anteriores el vehículo debe ser posicionado de manera correcta en los rodillos con cada uno de los sensores y equipos tales como la sonda de temperatura del motor, el sensor de revoluciones, la caja de interfaces y ventilador de refrigeración.

Posteriormente se empezó a medir el combustible en la probeta graduada para colocar en el tanque de presión. Este tanque de presión es conectado a través de la manguera de salida hacia la entrada del riel de inyección como se indica en la Figura 28 para que este se encargue de suministrar el combustible hacia el riel de inyección.



Figura 28. Conexión de tanque de presión en el riel de inyección

Colocada la cantidad de combustible en el tanque se procedió a bombear el tanque hasta una presión de 50 psi la cual es la presión de combustible de funcionamiento del riel de inyección del automóvil Spark. Ubicados todos los implementos e instrumentos se empezaron a realizar los ensayo IM240 descrito con anterioridad.

Al terminar el ensayo IM240 se desconecta la manguera de salida y el contenido sobrante del tanque y del riel se vertió en la probeta para medir la cantidad de combustible utilizado durante la prueba. Aplicando una resta entre el combustible suministrado inicialmente y el combustible sobrante se logra obtener el combustible utilizado durante el ensayo IM240.

$$\text{Combustible final} = \text{Combustible inicial} - \text{Combustible sobrante}$$

A continuación, se indica los ensayos de consumo de combustible con gasolina súper en la Tabla 16 y biocombustible E50 en la Tabla 17.

Tabla 16.

Datos consumo de combustible gasolina súper

Ensayo	Ciclo	Inicio[mL]	Final[mL]	Distancia[km]
1	IM240	1000	0,720	3,2
2	IM240	1000	0,710	3,2
3	IM240	1000	0,700	3,2

Tabla 17.

Datos consumo de combustible etanol

Ensayo	Ciclo	Inicio[mL]	Final[mL]	Distancia[km]
1	IM240	1000	0,750	3,2
2	IM240	1000	0,760	3,2
3	IM240	1000	0,770	3,2

Ensayo emisiones estáticas

El ensayo de emisiones estáticas es una prueba que se realiza sin aplicación de carga es decir la marcha del vehículo en posición neutro, para determinar la cantidad de emisiones que se producen en la reacción de combustión del motor. En este tipo de ensayo se obtiene las cantidades de CO, CO₂, HC, O₂ y el factor lambda.

El ensayo estático utilizado en este proyecto es la prueba estática NTE INEN 2004. Este ensayo estático NTE INEN 2004 es el ensayo que se utiliza en el distrito metropolitano de Quito en la Agencia Metropolitana de Transito para conocer el estado de un vehículo. En este ensayo se debe someter al equipo de medición a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante. Una vez realizado el paso anterior se realizó la medición de gases en dos fases, la primera fase consiste en mantener el régimen del motor en 2500 rpm durante 30 segundos la segunda fase consiste mantener el motor en ralentí durante 30 segundos para empezar a tomar las medidas.

Materiales y equipos

- Dinamómetro descrito anteriormente en el apartado de Ensayos de Motor
- Ordenador PC descrito anteriormente en el apartado de Ensayos de Motor
- Analizador de gases descrito anteriormente en ensayo dinámico de gases
- Sonda del analizador de gases descrito anteriormente en ensayo dinámico de gases
- Ducto de emisión gases descrito anteriormente en ensayo dinámico de gases
- Sensor de temperatura de aceite descrito anteriormente ensayo de torque y potencia
- Sensor de revoluciones descrito anteriormente en el apartado de ensayo dinámico
- Caja de interfaces.

- Ventilador de refrigeración descrito anteriormente

Procedimiento

Como se mencionó en apartados anteriores el vehículo debe ser situado de manera correcta en los rodillos con cada uno de los sensores y equipos tales como el sensor de temperatura del motor, el sensor de revoluciones, la caja de interfaces y ventilador de refrigeración como se visualiza en la Figura 29.

Antes de empezar a realizar el ensayo estático NTE INEN 2004 el vehículo deberá encontrarse a la temperatura de servicio indicada anteriormente.

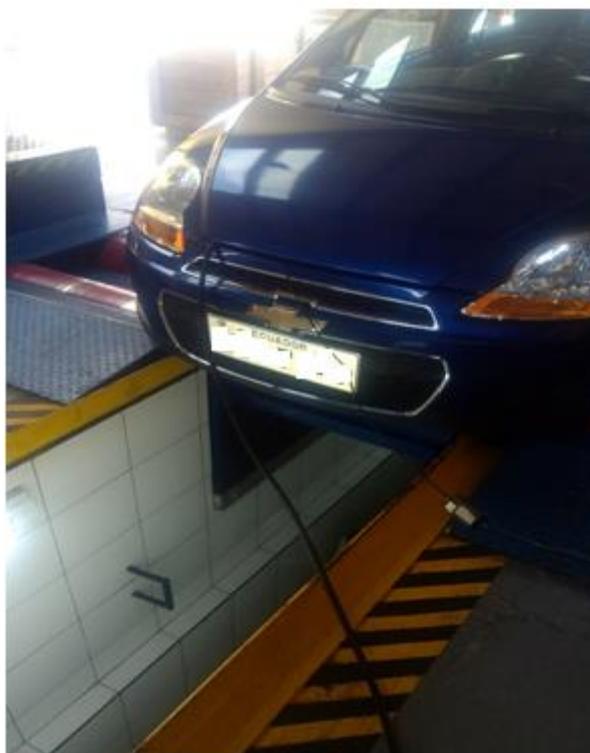


Figura 29 Ensayo estático gases

Realizados todos los demás pasos se procede a realizar el ensayo. Como se mencionó anteriormente el ensayo está compuesto por dos fases. La primera fase el operario deberá mantener acelerado el automóvil por un tiempo de 30 segundos. La segunda fase consta en mantener en ralentí el automóvil durante 30 segundos. Al finalizar el operario podrá tomar las medidas de los gases obtenidos en el ensayo estático.

El ensayo estático de emisiones con gasolina súper y Biocombustible E50 presentan los siguientes datos en la Tabla 18 gasolina súper y en la Tabla 19 el biocombustible E50.

Tabla 18.

Datos ensayo estático gasolina súper

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	ralentí	rpm alta
CO[%v]	0,14	0,04	0,1	0,02	0,22	0,03
CO ₂ [%v]	14,7	16,3	14,5	16,2	14,5	16,2
HC[ppm]	27	16	20	19	18	13
CO[%v]	2,19	0,23	2,21	0,25	2,17	0,28
Lambda	1,098	1,007	1,102	1,009	1,096	1,01
Rpm	760	2520	740	2540	750	2540

Tabla 19.

Datos de ensayo estático etanol

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	ralentí	rpm alta
CO[%v]	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
CO ₂ [%v]	16,2	14,7	16,2	14,8	16,22	14,8
HC[ppm]	11	10	10	8	10	10
CO[%v]	0,23	2,16	0,23	2,13	0,22	2,11
Lambda	1,009	1,102	1,009	1,101	1,008	1,099
Rpm	760	2540	750	2540	740	2540

Resultados

En este apartado se indicarán todos los resultados y datos obtenidos en el proceso de la elaboración del bioetanol y su análisis. También se indicarán los resultados de los ensayos de potencia, torque, emisiones dinámicas, emisiones estáticas y consumo de combustible de la gasolina súper y el bioetanol E50, además las comparaciones y análisis de los resultados entre estos dos combustibles.

En el presente proyecto presentó dos fases para indicar los resultados del bioetanol. La primera fase titulada ensayos experimentales comprendió de 10 ensayos experimentales con el fin de conocer rendimientos y cantidades obtenidas de etanol a partir de 24,3 kg de tallos de maíz. Y la segunda fase ensayo final comprendió los resultados del bioetanol para la realización de las pruebas de torque, potencia, emisiones dinámicas, emisiones estáticas y consumo de combustible a partir de 131,22 kg de tallo de maíz tipo *Zea mays L.*

Ensayos experimentales

Adecuación de la materia prima.

La primera fase señalada como ensayo experimental inicio con un peso de tallos de maíz de 24,3 kg. El tallo de maíz sometido al proceso mencionado en el método en el apartado de desfibrilación y molienda de maíz obtuvo 10 L de los 24,3 kg de maíz transformados en jugo de tallo de maíz. Estos datos determinan un promedio de la cantidad de jugo de tallo de maíz que se obtienen por peso del tallo. Los resultados indicaron que por 24,3 kg de maíz se puede obtener un promedio de 10 L de jugo o realizando la relación entre peso de la materia prima y jugo de caña se obtiene 2,43 kg/L.

Fermentación.

En el proceso de fermentación en la fase experimental se realizó 10 ensayos. Cada ensayo se tomó en cuenta dos parámetros, la cantidad de azúcar en °Brix y su pH. Las mediciones de los parámetros fueron tomadas al iniciar el proceso de fermentación a las 0 horas indicados en la Tabla 20. y al finalizar el proceso de fermentación 72 horas excepto el ensayo número dos que se fermentó en un total de 48 horas.

Tabla 20.

Resultados fermentación 0 horas

Numero de ensayo	pH	°Brix
1	4,83	11,2
2	4,94	12,7
3	5,47	13,2
4	5,12	11
5	5,60	11,6
6	5,61	11,5
7	5,67	11,5
8	5,22	13,8
9	5,22	13,7
10	5,22	14
Promedio	5,29	12,56

Realizado un promedio de todos los ensayos medidos a las 0 horas de fermentación en el laboratorio con el brixometro y el pHmetro. Se determinó que la caña de maíz del tipo *Zea mays L* presentó un promedio de cantidad de azúcar de 12,56 °Brix. Este dato se reveló que el jugo de la caña de maíz presentó un promedio de 12,56 g sólido en 100 gramos de disolución, es decir 12,56 g de azúcar y 87,44 g de agua.

El jugo de la caña de azúcar tipo *Zea mays L* mostró un promedio de 5,29 pH en la escala pH concluyendo que es una solución ácida apta para la realización de la fermentación por ende no se necesita reajustar el pH, ya que se encuentra entre el rango permitido de 4 a 6 como lo indican (Farjado & Sarmiento, 2007).

Realizado el proceso de fermentación del mosto de caña de maíz durante 72 horas (excepto el ensayo número 2) se obtuvieron las siguientes medidas de pH y °Brix.

Tabla 21.

Resultados fermentación 72 horas

Ensayos	pH	°Brix
1	4,24	4,5
2	4,29	9
3	5,22	4,6
4	5,11	3,8
5	4,76	2,8
6	4,98	3,3

7	4,14	2,2
8	4,16	4,8
9	4,16	5
10	4,12	2,2
Promedio	4,518	4,22

Nota: Excepto ensayo número 2 48 horas de fermentación

En la Tabla 21 se observa que cada uno de los ensayos sometidos al proceso de fermentación durante 72 horas caso que se indique lo contrario, disminuyeron la cantidad de azúcar en su disolución.

En las Figuras 30-35 de la parte inferior se puede apreciar el cambio de azúcar en °Brix y pH durante el proceso de destilación de los ensayos número 1, 2 y 3 los cuales fueron medidos diariamente durante todo el proceso de fermentación.

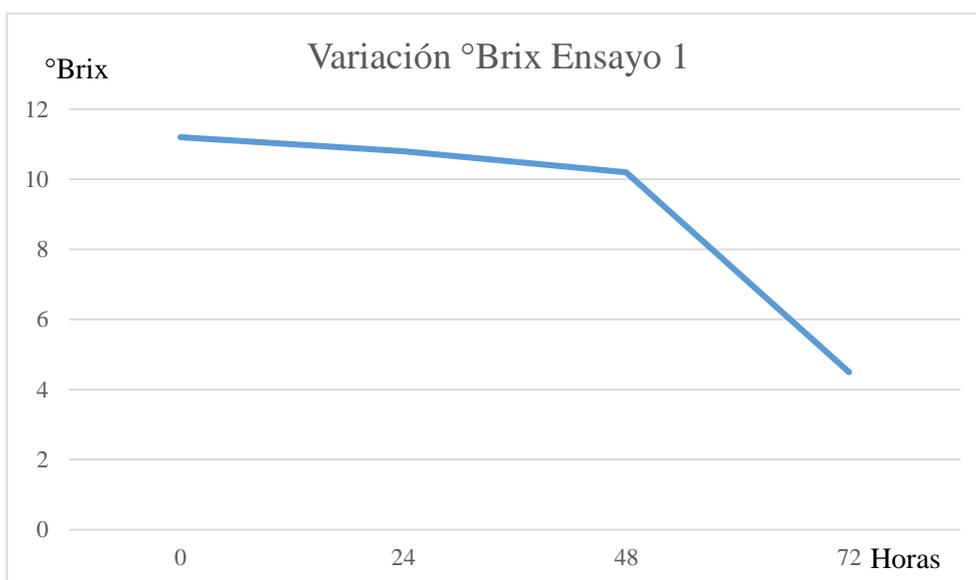


Figura 30. Variación °Brix Ensayo 1

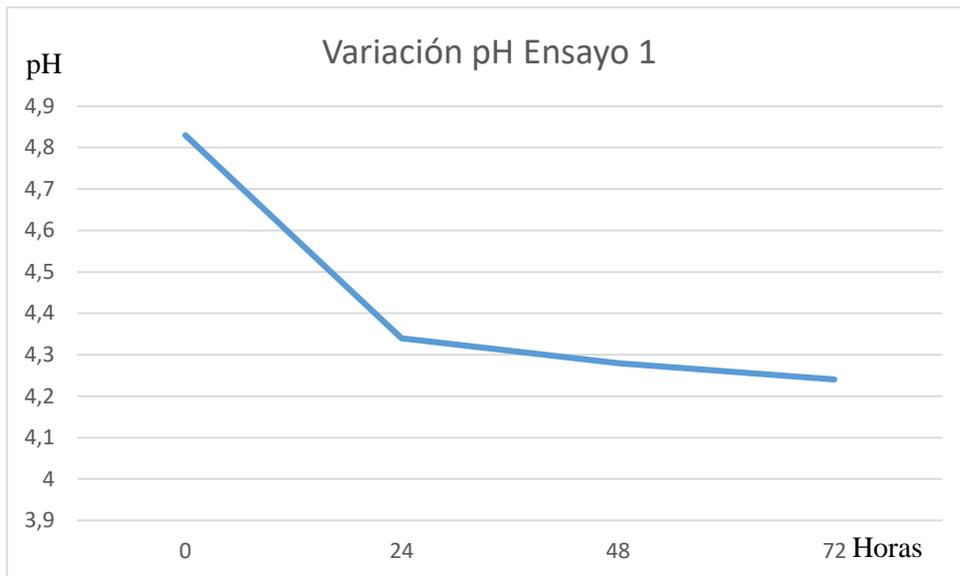


Figura 31. Variación pH Ensayo 1

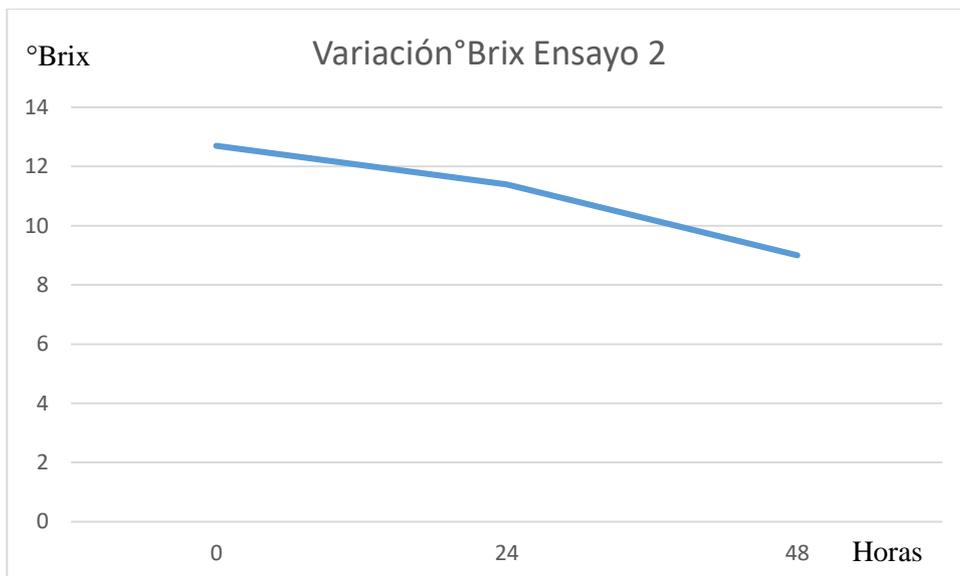


Figura 32. Variación °Brix Ensayo 2

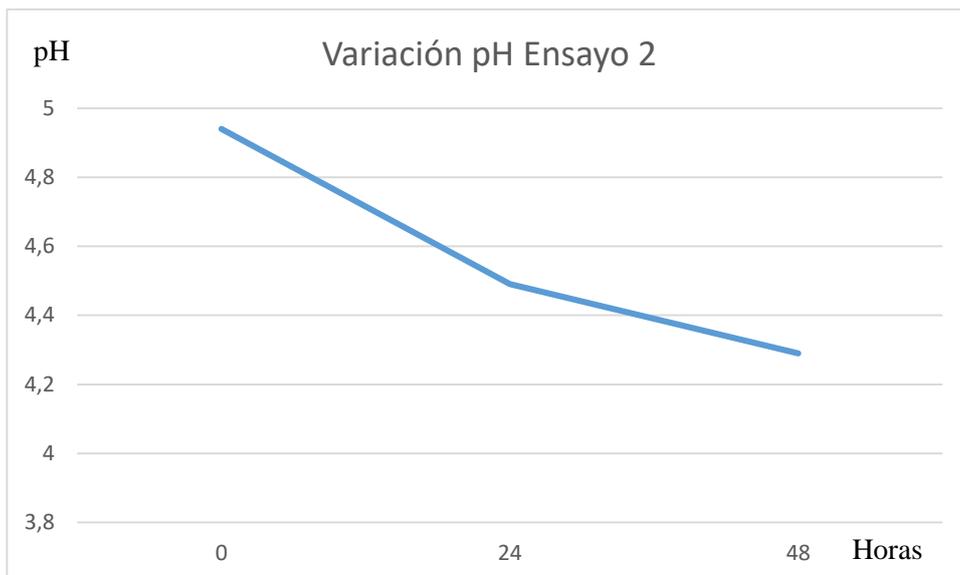


Figura 33. Variación pH Ensayo 2

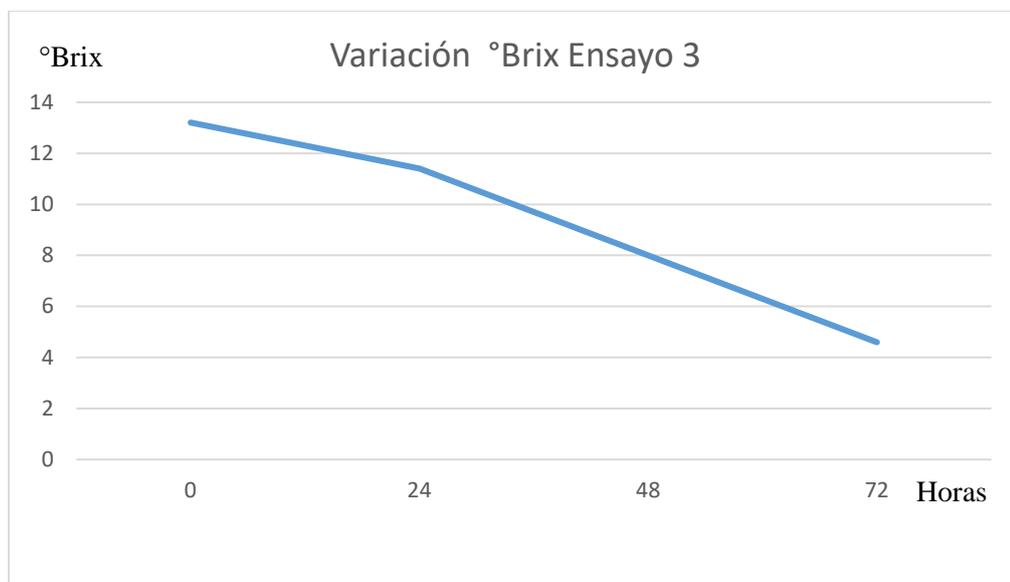


Figura 34. Variación °Brix Ensayo 3

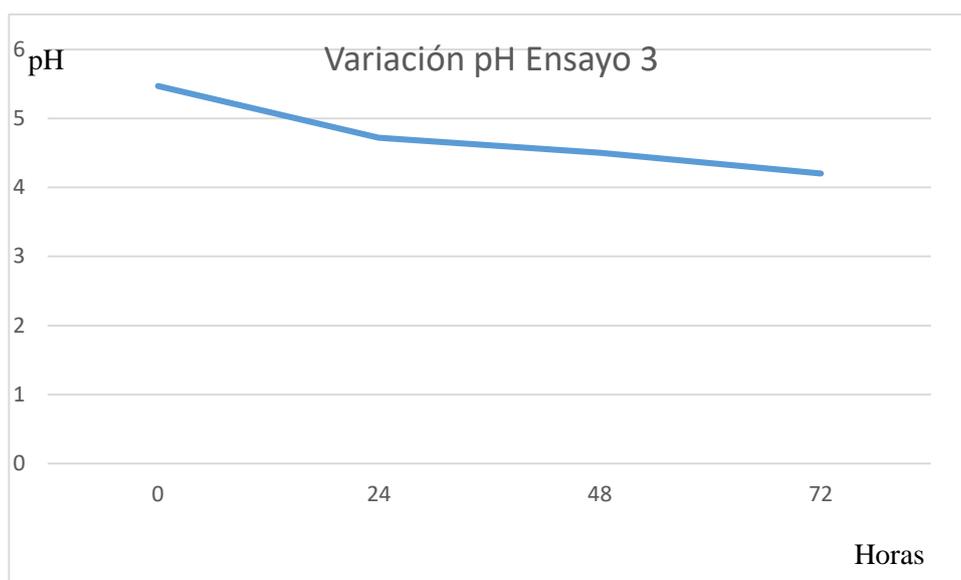


Figura 35. Variación pH Ensayo 3

Finalmente se realizó la comparación de la cantidad de °Brix a las 0 horas de fermentación con la cantidad de °Brix a las 72 y 48 horas de fermentación para determinar el porcentaje de reducción de cantidad de azúcar que se indica en la Tabla 22.

Tabla 22.

Porcentaje de reducción de cantidad de azúcar

Ensayos	°Brix inicial	°Brix Final	% de reducción
1	11,2	4,5	59,82
2	12,7	9	29,13
3	13,2	4,6	65,15
4	11	3,8	65,45
5	11,6	2,8	75,86
6	11,5	3,3	71,30
7	11,5	2,2	80,86
8	13,8	4,8	65,21
9	13,7	5	63,50
10	14	2,2	84,28
Promedio	12,42	4,22	66,02

Resultados de la destilación.

Al terminar las 72 horas de fermentación inmediatamente se realizó el proceso de destilación mencionado en el método en el apartado de destilación mostrados en la

Tabla 18. En la Tabla 23 se muestra los diez ensayos con sus respectivas temperaturas de inicio y final que se utilizó en el proceso de destilación, además se muestra el porcentaje de alcohol que se obtuvo al realizar la primera destilación.

Tabla 23.

Resultados de la destilación

Ensayo	V0[mL]	°T0 [°C]	Tpgota	Color	Vf[mL]	°Tf [°C]	Tf	%alcohol
1	1000	75	0;15:07;07	blanco	80	90	1;40:17;05	-----
2	1000	75	-----	-----	-----	90	2;03:17;05	-----
3	1000	75	0;15:07;07	incoloro	44	78	1;04;17;05	60
4	1000	75	0;13:04;08	incoloro	52	78	1;08;08;33	60
5	1000	75	0;12:01;03	incoloro	36	78	0;41;14;98	60
6	1000	75	0;14:05;04	incoloro	32	78	0;48;57;89	60
7	1000	75	0;15:53;24	incoloro	39	78	0;51:36;15	60
8	1000	75	0;15:53;24	blanco	164	90	1:40:36;15	19
9	1000	75	0;15:53;24	blanco	100	90	1:23:36;15	36
10	1000	75	0;15:53;24	incoloro	48	78	0:51:36;15	60

Finalmente se indica en Tabla 24 todos los ensayos que obtuvieron un porcentaje de alcohol de 60 ° con su respectiva cantidad de etanol en mL obtenida en el proceso. El promedio de todos los ensayos que presentaron 60° alcohólicos ayudaron a determinar la cantidad necesaria para producir la cantidad de los ensayos de torque, potencia, emisiones estáticas, emisiones dinámicas y consumo de combustible.

Tabla 24.

Cantidad primera destilación

Ensayo	Grado alcohólico	Cantidad ml
3	60	44
4	60	52
5	60	36
6	60	32
7	60	39
Promedio	60	40,6

En este proyecto de titulación se requiere alcoholes superiores a 90° alcohólicos, puesto que el MCI funciona con alcoholes superiores a 90°, por esta razón se realizó una segunda destilación. Para la ejecución de la segunda destilación se realizó un ensayo final aumentando la cantidad de tallos de maíz por medio del conocimiento y resultados de los ensayos experimentales.

Ensayo final

Adecuación de la materia prima.

El ensayo final inicio con un peso de 131,22 kg de tallos desfibrilados de maíz, al realizar el proceso de molienda de la caña de maíz del ensayo final se obtuvo una cantidad de 54 litros de jugo de caña de maíz.

Fermentación y Destilación

El ensayo final de igual manera que los ensayos experimentales se tomaron medidas de la cantidad de azúcar y el pH a las 0 horas de fermentación y a las 72 horas de fermentación como se observa en la Tabla 25. Además, se realizó el proceso de destilación detallado en la sección del método para obtener el etanol que es indicado en la Tabla 26.

Tabla 25.

Fermentación del ensayo final

Ensayo final	pH	°Brix
Ensayo final 0 horas fermentación	5,20	12,2
Ensayo final 72 horas fermentación	4,83	3,8

Tabla 26.

Ensayo final resultados de la primera destilación

Inicio	Final
V0= 54 L	Vf = 4,2 L
°T0= 70°C	°Tf = 75°C
Tpgota= 2:38:40:13	Tf =8:39:20:12
Color= Incoloro	%alcohol= 61%

En la Tabla 27 se visualiza el ensayo final. Este se realizó una segunda destilación para obtener alcohol superior a 90°. La destilación se realizó a partir de etanol obtenido a 60° alcohólicos. Y se divide en tres ensayos, dos ensayos con un volumen inicial de etanol de 1750 mL y uno con 700 mL dando como un resultado final

una cantidad total de etanol de 1810 ml de etanol a 91° alcohólicos, como se indica a continuación.

Tabla 27.

Ensayo segunda destilación simple

Ensayo	V0	°T0	Tpgota	Color	Vf	°Tf	Tf	%alcohol
Ensayo final 1 segunda destilación	1750 mL	70°C	00:37:05:13	Incoloro	690 mL	75°C	5:05:45:12	91%
Ensayo final 2 segunda destilación	1740 mL	70°C	00:26:34:13	Incoloro	770	75°C	6:02:44:39	91%
Ensayo 3 segunda destilación	700 mL	70°C	00:15:08:16	Incoloro	350 mL	75°C	2:21:55:75	91%

Nota: Para la segunda destilación se realizó 3 ensayos en diferentes volúmenes con el fin de obtener el etanol para los ensayos de motor

Deshidratación.

El proceso de deshidratación solo se realizó en el ensayo final con el fin de obtener un etanol deshidratado. Este procedimiento no realizó ningún cambio en la cantidad de grados alcohólicos que posee la muestra, puesto que se debe realizar un análisis de la cantidad adecuada de CaO para que este se encargue de absorber la mayor cantidad de agua existente en la solución. Es importante mencionar que para la utilización de un etanol anhidro grado carburante para un MCI se necesita que el grado alcohólico mínimo sea de 90. (Francisco & José, 2011)

Torque y Potencia.

Los valores máximos obtenidos durante todo el ciclo del ensayo de torque y potencia mediante plena carga realizado en el vehículo Spark 2016 se detallan en la Tabla 28 y Tabla 29 respectivamente.

Tabla 28.

Resultados Torque y Potencia gasolina súper

Ensayos	Potencia			Torque		
	Kw	HP	rpm	Nm	lbf.ft	Rpm
1	43,9	58,9	5715	78,23	57,7	4845
2	42,9	57,5	5495	77,01	56,8	4690
3	42,2	56,6	5495	75,92	56,0	47,45

Tabla 29.

Resultados Torque y Potencia biocombustible E50

Ensayos	Potencia			Torque		
	Kw	HP	rpm	Nm	lbf.ft	Rpm
1	31,7	42,5	5400	56,40	41,6	5350
2	34,2	45,9	5410	60,74	44,8	5310
3	33,4	48,3	5760	64,13	47,3	4720

En la Figura 36 se detalla una comparación de los valores máximos de potencia para conocer el rendimiento del automóvil con el biocombustible a 2800 msnm.

Además, se puede observar en la Figura 37 el porcentaje de disminución al suministrar el biocombustible al MCI en relación al combustible súper.

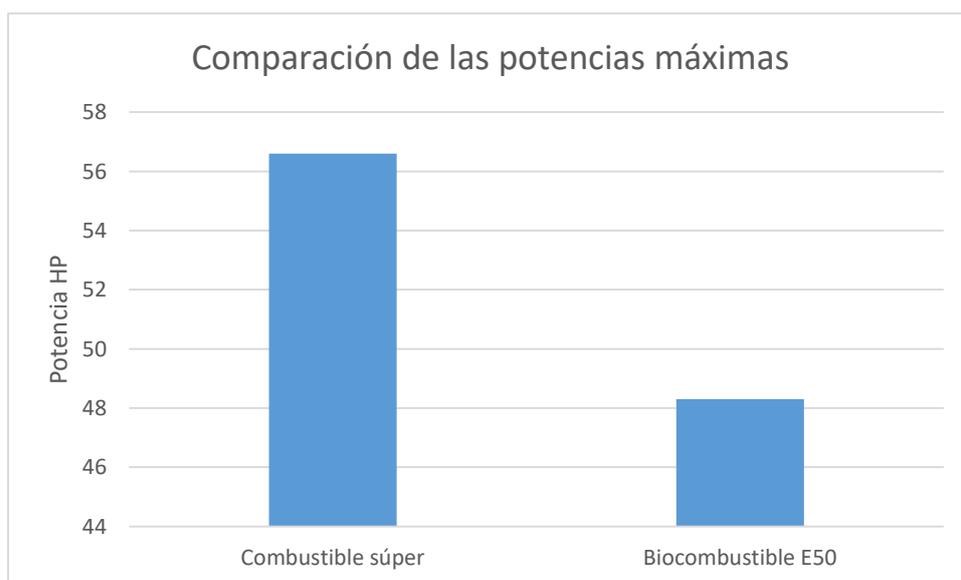


Figura 36. Comparación de las potencias máximas

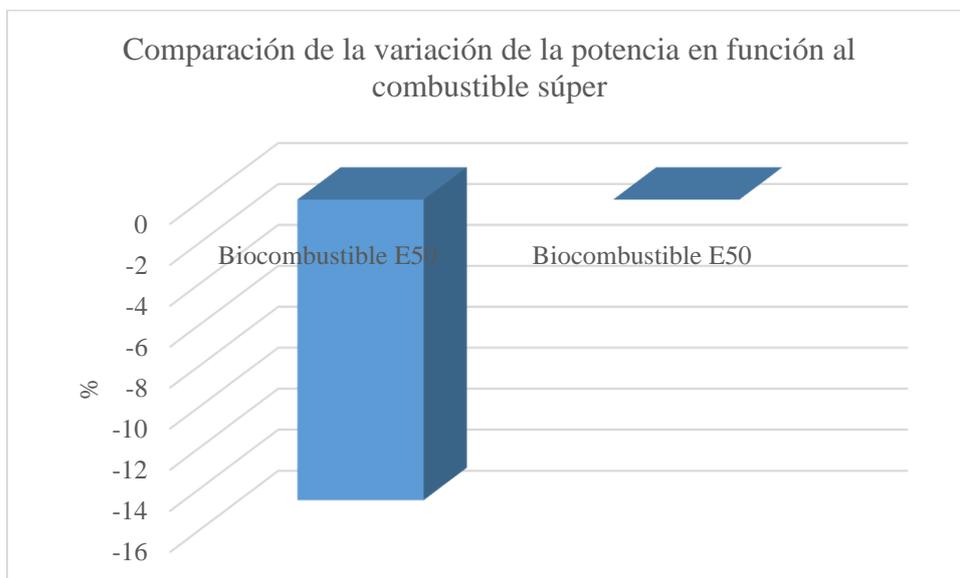


Figura 37. Comparación de variación de la potencia en función al combustible súper

Finalmente se indica en la Figura 38, una comparación de los valores máximos de torque para conocer el comportamiento del automóvil con los dos tipos de combustible a 2800 msnm. Conjuntamente, se puede observar en la Figura 39 el porcentaje de disminución al suministrar el biocombustible al MCI en relación al combustible súper.

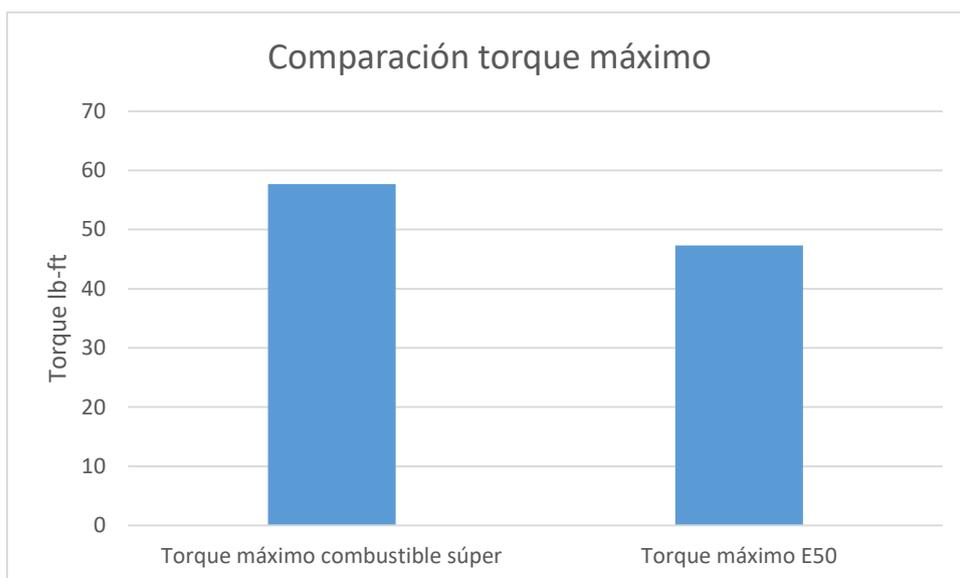


Figura 38. Comparación torque máximo

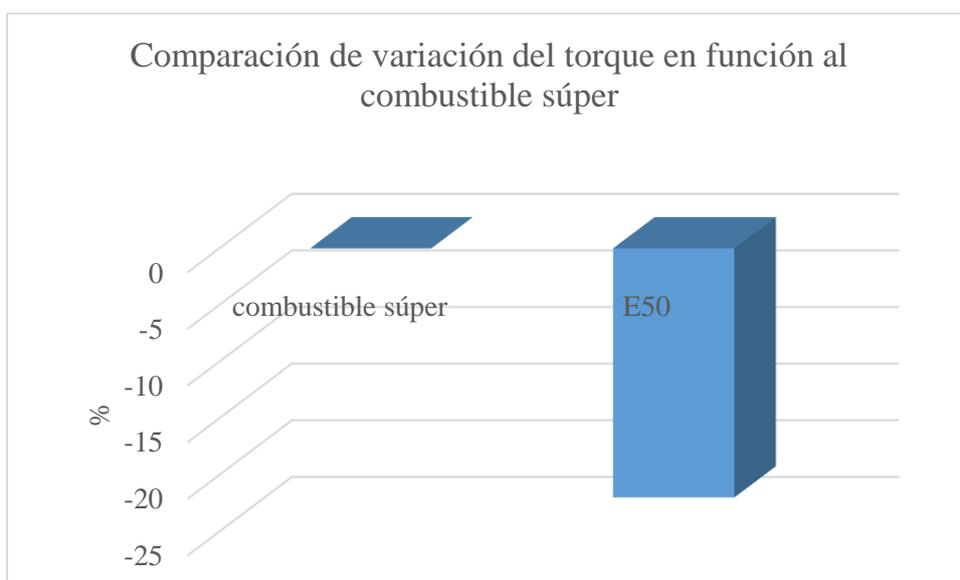


Figura 39. Comparación de variación del torque en función al combustible súper

Emisiones Dinámicas.

El ensayo de emisiones dinámicas consta de varios datos de los gases emitidos por el motor en función del tiempo. El CPU del dinamómetro se caracteriza por tomar 10 datos por cada segundo del ciclo IM240. Realizando un promedio de los datos se logra obtener los siguientes resultados presentados en las Tablas 30,31 de emisiones tanto para gasolina súper y con el combustible E50.

Tabla 30.

Resultados emisiones dinámicas gasolina súper

Ensayo	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO	Lambda
1	0,337	15,281	30,194	1,050	25,151	0,511
2	0,460	15,241	25,878	1,064	19,278	1,020
3	0,338	15,411	39,953	1,049	43,306	1,047
4	0,242	15,135	20,839	1,504	48,824	1,083

Tabla 31.

Resultados emisiones dinámicas biocombustible E50

Ensayo	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO	Lambda
1	0,169	13,923	8,322	3,008	120,118	1,011
2	0,091	14,365	16,811	2,464	153,340	1,153
3	0,147	14,187	12,491	2,638	124,274	1,176
4	0,117	14,509	11,822	2,183	131,578	1,141

Mostrados los resultados de las emisiones dinámicas de los dos combustibles se realizó la comparación de cada uno de los gases y lambda. Esto se puede evidenciar en las Figuras 40-45 las cuales indican comparaciones de los gases como CO, CO₂, HC, O₂ NO y lambda de la gasolina súper y el biocombustible E50.

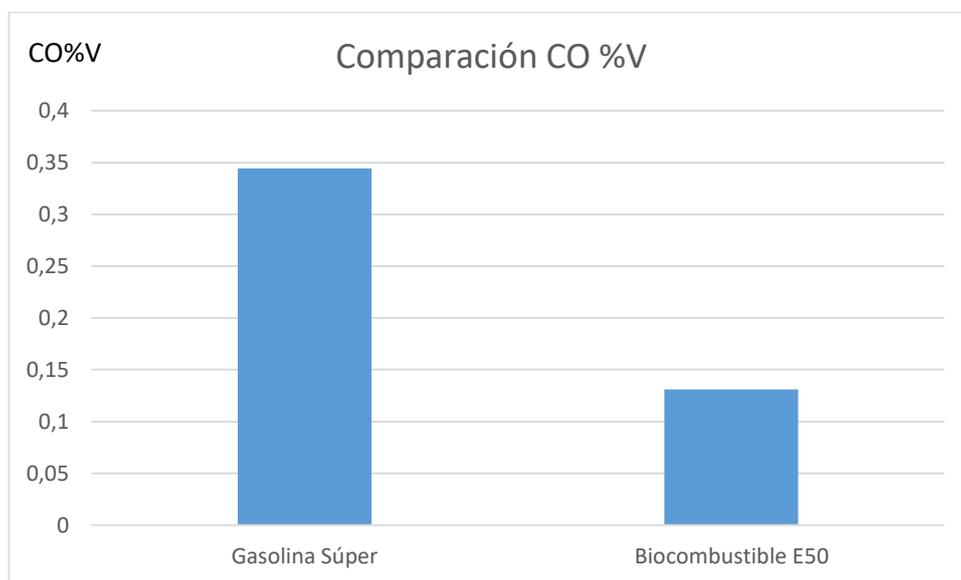


Figura 40. Comparación de CO entre gasolina súper y biocombustible E50

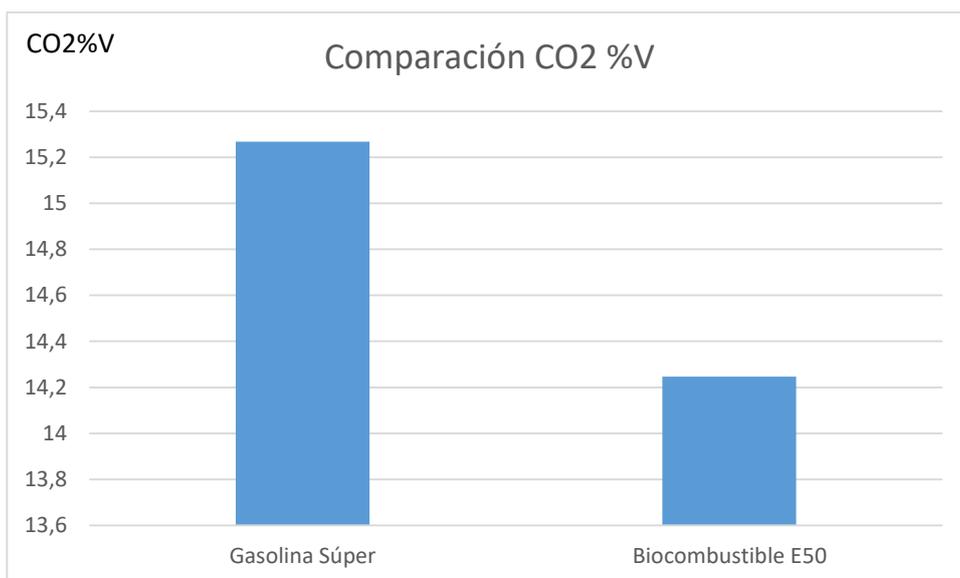


Figura 41. Comparación de CO2 entre gasolina súper y biocombustible E50

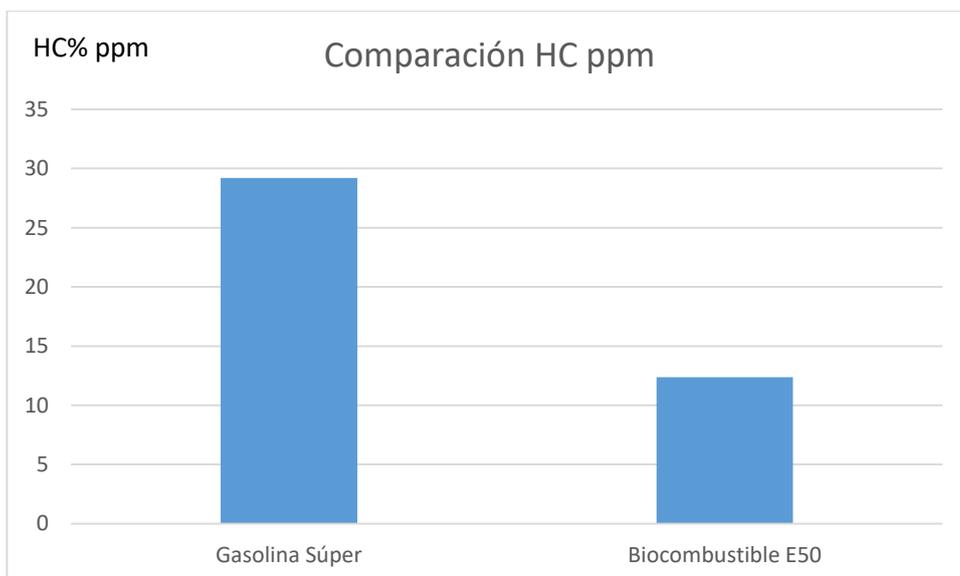


Figura 42. Comparación de HC entre gasolina súper y biocombustible E50

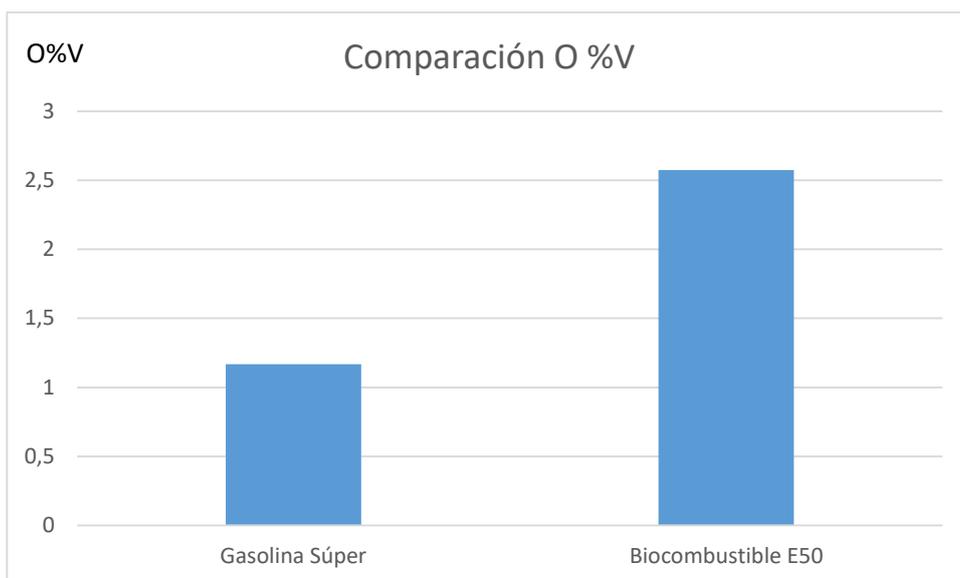


Figura 43. Comparación de O entre gasolina súper y biocombustible E50

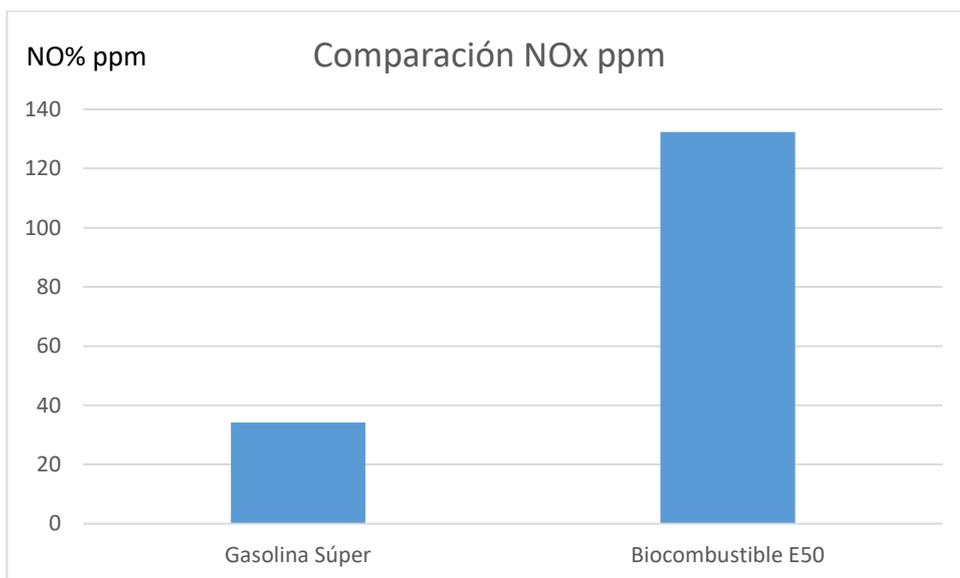


Figura 44. Comparación de NOx entre gasolina súper y biocombustible E50

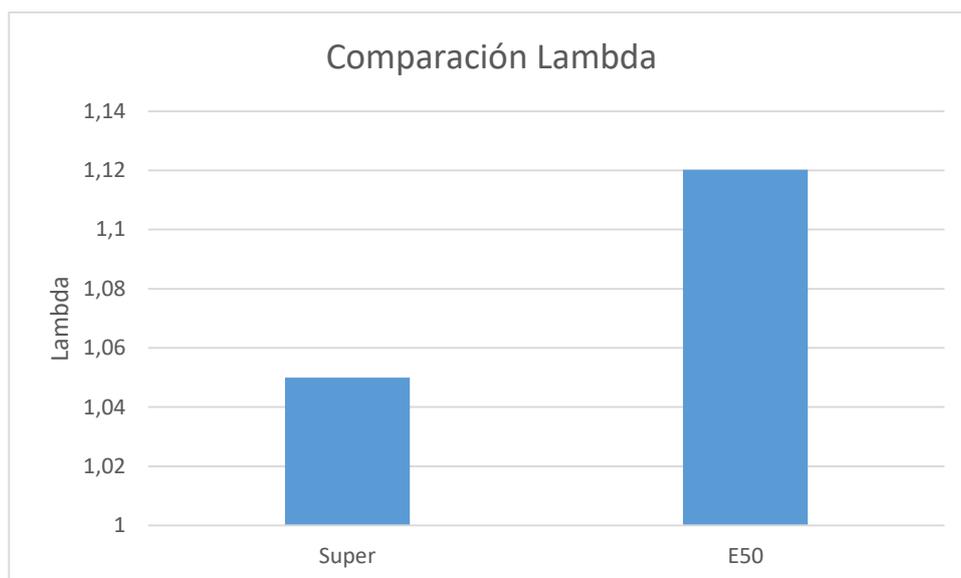


Figura 45. comparación lambda

Consumo de Combustible.

El ensayo de consumo de combustible mediante el ciclo IM240 realizado con la gasolina súper presenta el combustible suministrado al tanque de presión de gasolina, el combustible final o combustible no combustionado recogido en la probeta y la distancia recorrida en el ciclo IM240 los cuales se pueden observar en la Tabla 32.

Tabla 32.

Resultado consumo de combustible súper

Ensayo	Ciclo	Inicio MI	Final mL	Distancia km
1	IM240	1000	0,720	3,2
2	IM240	1000	0,710	3,2
3	IM240	1000	0,700	3,2

Realizando la respectiva resta entre el combustible inicial y el combustible final se obtiene los siguientes resultados que indican en la Tabla 33 la cantidad de volumen en mL que se usó en cada ensayo en un recorrido de 3,2 km.

Tabla 33.

Consumo de combustible gasolina súper

Ensayo	Ciclo	Consumo de combustible mL	Distancia km
1	IM240	280	3,2 km
2	IM240	290	3,2 km

3	IM240	300	3,2 km
---	-------	-----	--------

Al realizar un promedio entre los tres ensayos realizados con la prueba IM240 en el dinamómetro con la gasolina súper se obtiene que el promedio de consumo de la gasolina súper es de 290 mL en una distancia de 3,2 km. El consumo de combustible en un automóvil viene dado por gal/km y su rendimiento en km/gal, el combustible súper presenta los valores de 0,024gal/km y 41,67 km/gal.

El ensayo de consumo de combustible por medio del ciclo IM240 con el combustible E50 presenta los siguientes datos en la Tabla 34.

Tabla 34.

Resultado consumo de combustible E50

Ensayo	Ciclo	Inicio mL	Final mL	Distancia km
1	IM240	1000	0,750	3,2
2	IM240	1000	0,760	3,2
3	IM240	1000	0,770	3,2

Si realizamos la resta entre el combustible inicial y el combustible final se obtiene la siguiente Tabla 35 de consumo de combustible.

Tabla 35.

Consumo de combustible E50

Ensayo	Ciclo	Consumo de combustible mL	Distancia km
1	IM240	250	3,2 km
2	IM240	240	3,2 km
3	IM240	230	3,2 km

Si se realiza un promedio entre los tres ensayos realizados con la prueba IM240 en el dinamómetro con el biocombustible E50 se obtiene que el promedio de consumo es de 240 mL en una distancia de 3,2 km. Como se mencionó anteriormente el consumo de combustible en un automóvil viene dado por gal/km y su rendimiento en km/gal, el biocombustible E50 presenta los valores de 0,0198gal/km y 50,51km/gal.

A continuación, se presenta en la Tabla 36 los valores del consumo de combustible y el rendimiento de los dos combustibles analizados anteriormente.

También se puede observar en la Figura 46 la comparación entre los dos combustibles y

conocer en la Figura 47 el porcentaje de variación de rendimiento del biocombustible en bases a la gasolina súper.

Tabla 36.

Comparación consumo y rendimiento combustibles

Combustible	Consumo [gal/km]	Rendimiento[km/gal]
Súper	0,024	41,67
E50	0,0198	50,51

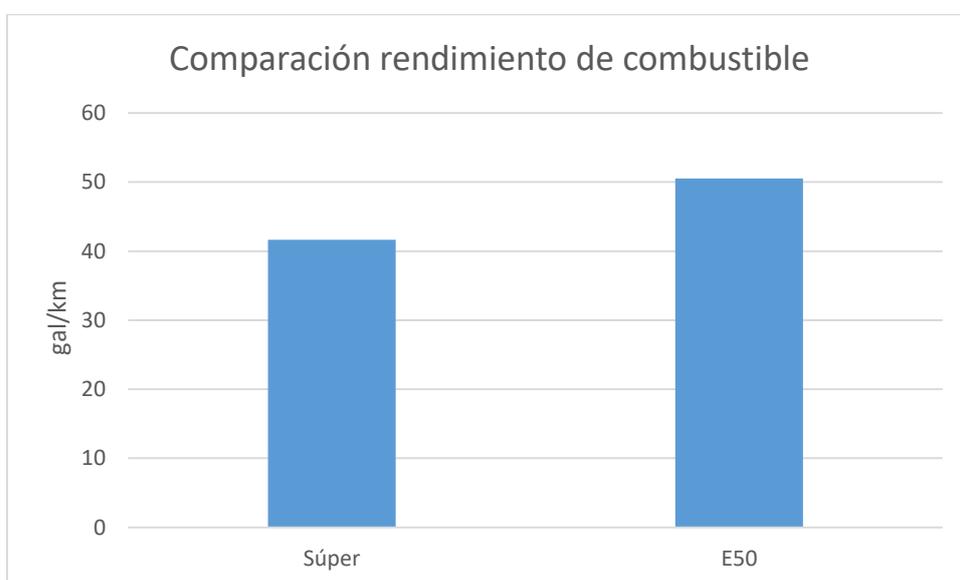


Figura 46. Comparación de consumo de combustible entre gasolina súper y biocombustible E50

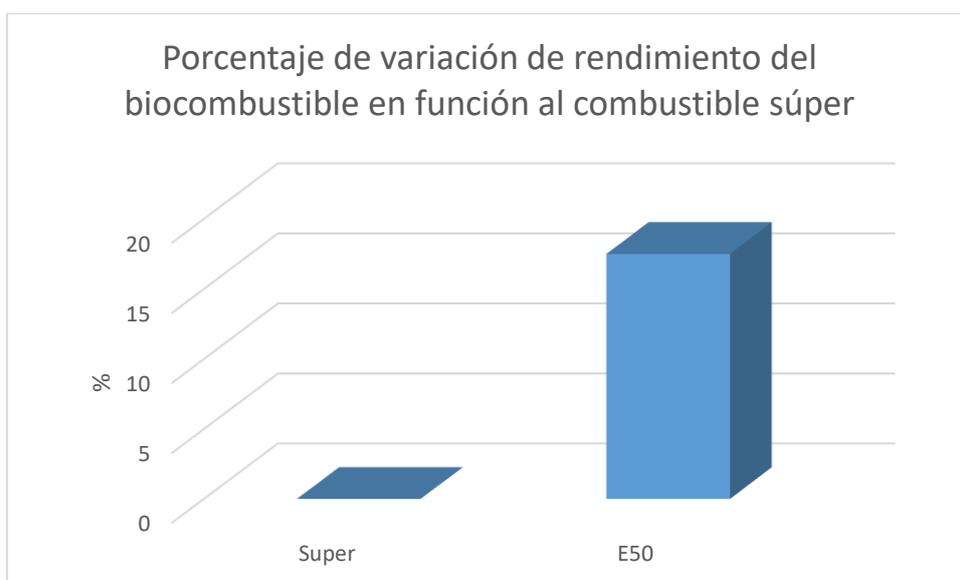


Figura 47. Porcentaje de variación de rendimiento del biocombustible en función al combustible súper

Emisiones estáticas.

El ensayo de emisiones estáticas por el método NTE INEN 2014 realizado con la gasolina súper y el bioetanol E50 presentan en la Tabla 33 y Tabla 37 los siguientes resultados.

Tabla 37.

Emisiones estáticas gasolina súper

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO[%v]	0,14	0,04	0,1	0,02	0,22	0,03
CO ₂ [%v]	14,7	16,3	14,5	16,2	14,5	16,2
HC[ppm]	27	16	20	19	18	13
O[%v]	2,19	0,23	2,21	0,25	2,17	0,28
Lambda	1,098	1,007	1,102	1,009	1,096	1,01
Rpm	760	2520	740	2540	750	2540

Tabla 38.

Emisiones estáticas bioetanol E50

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO[%v]	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
CO ₂ [%v]	16,2	14,7	16,2	14,8	16,22	14,8
HC[ppm]	11	10	10	8	10	10
O ₂ [%v]	0,23	2,16	0,23	2,13	0,22	2,11
Lambda	1,009	1,102	1,009	1,101	1,008	1,099
Rpm	760	2540	750	2540	740	2540

Finalmente se indica en la Figura48 la comparación de CO% de los dos combustibles con el valor de % permitido por la NTE INEN 2014, y el la Figura 49 la comparación de HC ppm de los dos combustibles y la norma NTE INEN 2014

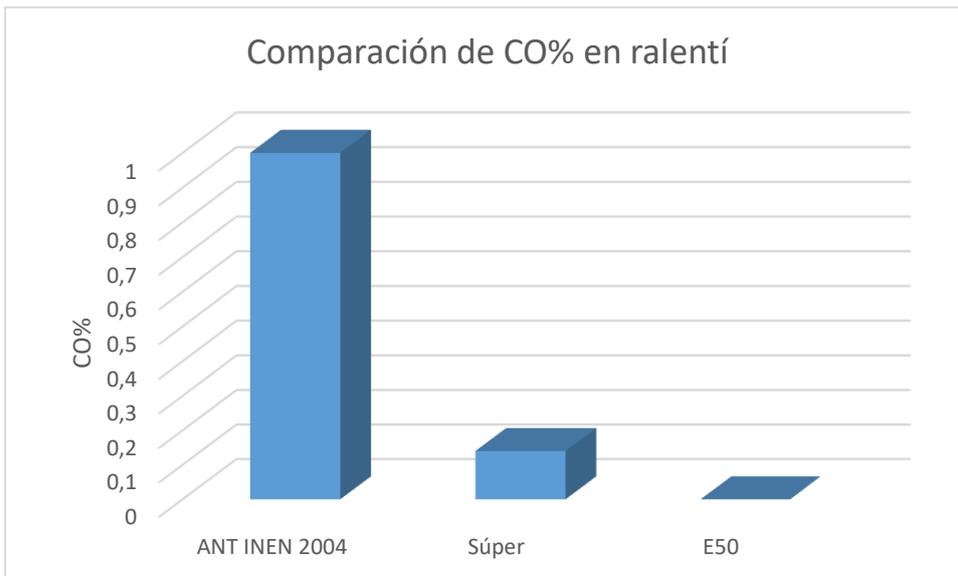


Figura 48 Comparación en ralentí CO%

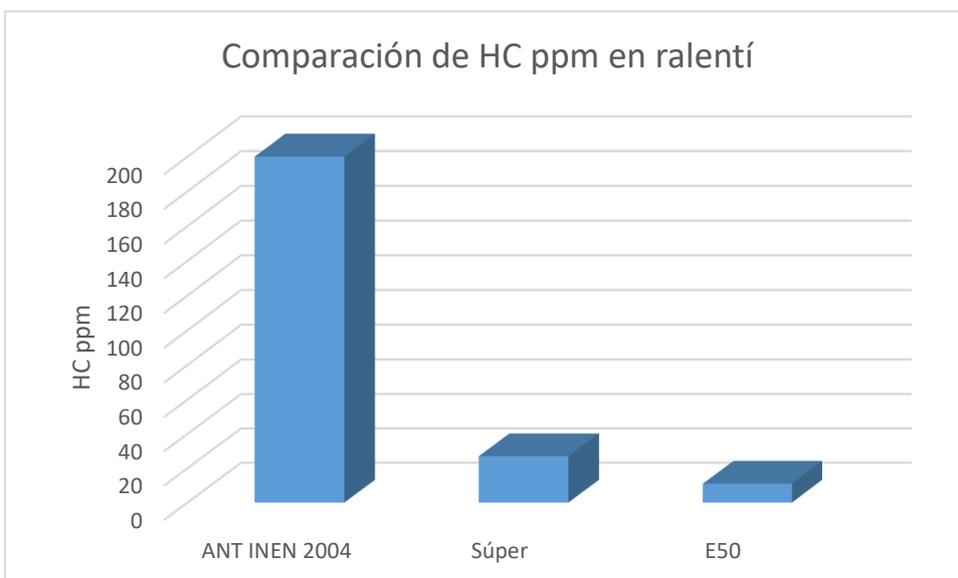


Figura 49. Comparación ralentí de HC ppm

Análisis y discusión de resultados

El proyecto de titulación tuvo como propósito realizar un biocombustible de segunda generación mediante el aprovechamiento del residuo orgánico de las plantaciones de maíz con el fin de obtener alcohol como combustible y realizar los respectivos ensayos en un motor de combustión interna. Sobre todo, el proyecto está centrado en el proceso de producción del etanol desde la obtención del residuo de maíz hasta su fase final de destilación de 91 ° alcohólico, además la utilización de este nuevo biocombustible realizando los ensayos de torque, potencia, consumo de combustible, emisiones dinámicas y estáticas en un automóvil marca Chevrolet Spark de 995 cc.

De los resultados obtenidos de la investigación se analiza, discute y deduce los siguientes puntos.

La materia prima utilizada para la realización del alcohol como combustible es el maíz suave tipo *Zea mays L.* Los ensayos realizados en el apartado experimental y final se obtuvieron una cantidad de jugo de caña de 10 litros en el primero y 54 litros en el segundo respectivamente, dando como resultado un litro de jugo de caña por 2,42 kg de tallos de maíz. (Carhuamaca & Rivera, 2016), obtuvo una cantidad de 1 L de jugo por cada 7,11 kg de tallo de maíz; de manera que la cantidad de jugo podrá variar de una especie a otra, manejo del cultivo del maíz, sistema de siembra y la edad de la planta.

Los resultados de la fermentación de la caña de maíz con un 1% de levadura tipo *Saccharomyces cerevisiae* activa y fermentada por un tiempo entre 48 a 78 horas presentada en la sección de resultados, indican la cantidad o el cambio de azúcar que existe durante el proceso de fermentación de los ensayos 1, 2 y 3, las cuales se puede visualizar en las Figuras 30, 32, 34.

Inicialmente el jugo de tallo de maíz presentó un promedio de 5,29 pH y una cantidad de azúcar de 12,56 °Brix, estos valores se encuentran en el rango óptimo para que una especie se fermente de forma eficiente para obtener alcohol como lo indica (Farjado & Sarmiento, 2007) . En otras investigaciones realizadas por Luisa Paucar de la Universidad Nacional del Centro del Perú se obtuvo una cantidad de 5,4 pH y una cantidad de °Brix de 14,5. Además se menciona que en Spencer se obtuvo un promedio de 14 °Brix y en Peñaranda se indica un pH de 5,2. y una cantidad de azúcar de 13,5 °Brix. (Paucar, 2008). Si comparamos estos datos con los obtenidos en la fermentación del proyecto se observa que la cantidad de pH no presenta una diferencia significativa,

pero en la cantidad de °Brix si la hay. Estos valores fluctúan entre si puesto que la cantidad de °Brix dependerá de las condiciones en la que habita la especie destinada para la fermentación, la variedad, la madurez o etapa de crecimiento, el agua y el manejo de la fertilización.. (Meléndez, 2015).

En las Figuras 30, 32 y 34 se observó en dichos ensayos que durante las primeras 24 horas de fermentación existe un descenso de la cantidad de azúcar, esto significa que las enzimas levaduras se encargaron de transformar la glucosa en etanol y CO₂.

También se indicó el proceso de fermentación de 48 horas y 78 y se observó que la cantidad de azúcar continuó disminuyendo, obteniendo en el ensayo 1 una cantidad de 4,5 °Brix, el ensayo 2 de 9 °Brix y el ensayo número 3 de 4,6 °Brix que se observa en las Figuras 30 ,32 y 34. Finalmente se analizó el porcentaje de reducción de azúcares en la Tabla 22. El porcentaje adecuado de reducción para determinar una buena fermentación según (Farjado & Sarmiento, 2007) es superiores a 65%. En el proyecto todos los ensayos presentan porcentajes superiores a los 65% por ende el proceso de fermentación realizado se encuentra en buenas condiciones, excepto el ensayo número 2 el cual presento un valor inferior a 65 %, este resultado se debe a que el ensayo numero dos solo se fermento hasta 48 horas.

Los ensayos número 5,6,7 y 10 como se indica en la Tabla 2139 presentaron menor cantidad de grados °Brix y un porcentaje mayor de reducción de azúcares obtenidos a las 78 horas de fermentación. Estos ensayos presentaron parámetros de temperatura de 30° C y una velocidad de agitación entre 500 y 700 rpm. Analizando estos resultados se manifestó que tanto la temperatura y la agitación ayudan a mejora la trasferencia de calor y permite una mezcla homogénea para que exista un contacto entre las levaduras y el jugo de caña para que mejore la velocidad de reacción.

Para estudios posteriores se debería realizar un análisis con otro porcentaje v/v de levadura para analizar el porcentaje de reducción de azúcares, además la utilización de un microorganismo especializado en la realización de biocombustibles, puesto que el éxito de la obtención de bioetanol va a depender de la eficiencia y desempeño del microorganismo. En la industria existe microorganismos capaces de soportar mayor cantidad de etanol que *Saccharomyces cerevisiae* y en reducir el tiempo de fermentación logrando obtener mayor cantidad de dicha solución.

En la destilación se utilizó una columna de destilación y condensador simple a una temperatura constante, logrando obtener alcoholes de alto grado, gracias a la

redestilación que proporciona la columna de destilación, teniendo en cuenta el control de la temperatura y el tiempo de destilación.

En datos generales la mayoría de destilaciones realizadas en los ensayos experimentales tomaron un tiempo aproximado de 15 min para la primera gota. En este tiempo de destilación, la disolución de agua etanol de 500 mL logró un cambio de estado, separando el etanol el componente más volátil del componente menos volátil agua.

En la destilación de los ensayos existe varios experimentos que lograron llegar a los 60 % alcohólicos esperados y experimentos que no lograron llegar a los 60° alcohólicos.

Se observó en las Tabla 23 que los ensayos número 1, 2,8,9 llegaron a obtener en la destilación grados inferiores a 60° alcohólicos, estos ensayos llegaron a una temperatura final de destilación de 90 °C y un tiempo superior 1:10:00;00. Excepto el ensayo número dos, que por su alto contenido de azúcares no logró obtener nada de alcohol por ende su tiempo de fermentación no fue el óptimo para que las levaduras reaccionen con el mosto para obtener etanol. En tanto que los ensayos número 3, 4, 5, 6, 7, 10 se logró obtener 60 ° alcohólicos a una temperatura final de destilación de 78° C y un tiempo menor a 1:10:00:00.

Se analizaron los dos casos presentados, ensayos de alcohol superior a 60° y ensayos con menor de 60°. La temperatura final de destilación y por consiguiente el tiempo de destilación influye en la obtención de la cantidad de grados alcohólicos obtenidos en el proceso. Los experimentos que se destilaron hasta una temperatura de 75° C lograron obtener el porcentaje de alcohol requerido, en tanto que los ensayos que se destilaron hasta una temperatura de destilación de 90 ° C, no son adecuados para el estudio, dichos ensayos llegaron a temperaturas próximas a 90° C en el cual el agua también empieza a evaporarse y a mezclarse con el etanol. Estos ensayos que no lograron los 60° deberían ser destilados nuevamente para alcanzar los 60° de alcohol teniendo en cuenta la temperatura óptima y tiempo adecuado.

En la destilación cada ensayo presenta dos tonos diferentes de color, se observó que según el color del destilado se puede determinar un aproximado de la cantidad de grado alcohólico que este posee. Los ensayos que presentaron un color blanco en su destilado no llegaron a los 60° alcohólico. En cambio, los ensayos que presentaron un color incoloro o cristalino indicaron un grado alcohólico de 60.

Finalmente, en el proceso de destilación se obtuvo las siguientes cantidades de etanol al 60° alcohólicos.

En la tabla presentada, el ensayo número 4 logró mayor cantidad de etanol, este ensayo inicio con una cantidad de 11 °Bx y un pH de 5,12 y al finalizar el proceso de fermentación se adquirió 5,11 pH y 3,8 °Bx. Este ensayo a comparación con los demás no fue uno de los experimentos que más redujo su cantidad de azúcar, pero cabe recalcar que este ensayo su destilación tomo un tiempo de 1:08:17:05, logrando obtener mayor cantidad que los demás ensayos. Es necesario conocer cuál sería el tiempo adecuado o el proceso adecuado de la destilación del mosto de caña de maíz para obtener un rendimiento mayor en la obtención de etanol.

El ensayo final partió de una cantidad de 54 litros de mosto de 12.2 °Brix y un pH de 5,20, en el proceso de fermentación se logró obtener una cantidad de 3,8 °Brix y 4,83 pH para finalmente obtener en la primera destilación una cantidad de 4,8 litros de etanol. En el ensayo final se realizó una segunda destilación con el propósito de obtener un etanol superior a los 90° alcohólicos puesto que el motor no puede funcionar con alcoholes de menor cantidad. En esta segunda destilación se obtuvo una cantidad de 1810 mL de etanol al 91° alcohólicos.

Para posteriores estudios se deberá realizar el método de la identificación calorimétrica con permanganato de potasio (KMnO_4) para conocer cuánto se obtuvo de etanol en el proceso de fermentación.

También se debería realizar una tercera destilación de igual manera con una columna de fermentación para saber si el grado alcohólico aumentaría.

Al analizar los ensayos de torque y potencia realizados en el automóvil modelo Spark de 995 cc se determinó el rendimiento del motor al utilizar el combustible E50 en base al combustible súper.

Se obtuvo que el combustible súper presenta una potencia máxima de 58,9 HP a 5700 rpm y el biocombustible una potencia máxima de 48,2 HP a 5700. Si comparamos estos valores con los datos del fabricante que indica un valor de 65 HP a 5700 rpm podemos analizar que el valor de ambos combustibles está por debajo del valor indicado por el fabricante, esto se debe a que la potencia máxima disminuye su valor ya que existe desgaste o deterioro de los componentes del automóvil como el MCI, sistema electrónico de inyección entre otros, por los kilómetros recorridos del motor según (Francisco & José, 2011), además hay que considerar que estos datos de potencia máximos indicados son obtenidos en un ensayo que se realizó a 2800msnm. También se

puede evidenciar en la Figura 37 que al utilizar el biocombustible E50 existe una reducción de potencia del 14,66% con respecto al combustible súper.

En el caso de la curva de torque se obtuvo valores máximos de 57,7 lbf-ft a 4800 rpm y 47,3 lbf-ft a 4700 de combustible súper y biocombustible E50 respectivamente. El fabricante presenta un valor de 67 lbf-ft a 4800 rpm. Si comparamos estos valores con el del fabricante se puede evidenciar que existe una disminución de torque debido a las razones explicadas anteriormente acerca de la potencia sobre el kilometraje y las condiciones de altura donde se realizó el ensayo. Del mismo modo se puede evidenciar en la Figura 39 que al utilizar el biocombustible E50 existe una disminución de torque del 21,98% con respecto al combustible súper. Finalmente, por los motivos mencionados anteriormente se evidencia que el rendimiento del motor es menor al utilizar el biocombustible E50.

Estudios realizados con el aumento de una relación de compresión a una velocidad constante de 2.500 rpm, en un automóvil Lombardi LM 250, de carburador, presentaron beneficios en la salida de potencia y emisiones contaminantes bajas en una mezcla E50. (Mariaca, Cendales, & Eslava, 2016). Es decir que esta proporción genera un aumento de potencia y torque a revoluciones medias, Para aumentar el rendimiento del vehículo se debe modificar la compresión del vehiculó Spark y disminuir la cantidad de aire puesto que para que exista una buena combustión del etanol dentro de la cámara de combustión se necesita un dosado de 1/9. (Francisco & José, 2011)

En cuanto a las emisiones dinámicas por el método IM240 el cual es un ensayo que presenta datos en condiciones reales se analizaron los diferentes porcentajes de reducción o de aumento de los gases y lambda con respecto al combustible súper para determinar el combustible que menos produce emisiones contaminantes hacia el ambiente.

Si observamos el valor de lambda de los dos combustibles en la Figura 45 se evidencia que el combustible súper con un valor de 1,05 presenta una mejor oxidación que el biocombustible E50 con un valor de 1,12, puesto que el valor de lambda se acerca al valor 1 el cual representa el valor estequiométrico adecuado para una combustión completa. Al analizar el valor de lambda del biocombustible E50 se determina que la combustión presenta una mezcla rica, existe ligeramente un de biocombustible en la cámara de compresión. Esto ocurre debido a que el etanol necesita menor cantidad de oxígeno para su combustión ya que el etanol presenta valores de

dosado de 1/9 y es uno de los motivos por el cual este combustible presenta un rendimiento inferior con respecto al combustible súper.

Si observamos en la Figura 40 se evidencia que el CO%V emitido por el combustible súper es de 0,34 y el biocombustible E50 es de 0,131 evidenciando que el combustible E50 produce menos cantidades de CO al ambiente. En la Figura 41 se presenta los valores de CO₂%V de 15,26 y 14,24 de los combustibles súper y biocombustible respectivamente, evidenciando que el combustible E50 produce menos cantidades de CO₂ al ambiente. que el combustible súper. En el caso de los hidrocarburos se presentan los valores de HC ppm indicando el combustible súper emite mayor cantidad de hidrocarburos hacia el ambiente. La comparación de oxígeno entre los dos combustibles mostrada en la Figura 43 manifiesta que el biocombustible emite más cantidad de O₂ que el combustible súper, esto existe debido a que en la combustión del E50 existe un exceso de O₂ que no reacciona con el etanol por esta razón también el este tipo de biocombustible emite mayor cantidad de NOx, ya que el oxígeno mencionado anteriormente se mezcla con el nitrógeno que entra a la cámara de combustión y forma un enlace sumamente fuerte a presiones y temperaturas altas el cual es difícil de romper al momento de salir hacia el ambiente.

Debido a lo mencionado anteriormente el biocombustible E50 es un combustible amigable con el ambiente que reduce las cantidades de CO, CO₂ y HC.

En las pruebas IM240 de consumo de combustible se analiza el rendimiento del combustible. Se puede observar en la Figura 43 se determinó que en el recorrido de los 3,2 km el combustible súper se utilizó 290 mL de combustible en tanto que en la prueba IM240 del biocombustible E50 se utilizó 240 mL. Analizando los datos se observa en la Tabla 36 los valores de rendimiento de 41,67 km/gal y 50,51 km/gal del combustible súper y biocombustible E50. Los datos del fabricante afirman que el automóvil presenta un rendimiento de 58 km/gal, si comparamos con los valores obtenidos se evidencia que existe una disminución del rendimiento del automóvil pero esto se debe al desgaste o deterioro de los componentes del automóvil como el MCI, sistema electrónico de inyección entre otros, por los kilómetros recorridos del motor según (Francisco & José, 2011), además hay que considerar que estos datos de rendimiento de combustible señalados son obtenidos en un ensayo que se realizó a 2800msnm. Finalmente se evidencia que existe un 17,50 % de eficiencia del biocombustible en base al combustible súper, el automóvil recorre más km/gal usando el biocombustible E50.

Conclusiones

Se obtuvo una cantidad de 1810 mL de etanol al 91° alcohólicos mediante la fermentación de 54 L de jugo que fueron procesados de 131,22 kg de tallos de maíz tipo *Zea mays L*, para el análisis en un MCI a partir de los ensayos de torque potencia, consumo de combustible, emisiones estáticas y dinámicas

En el proceso de fermentación del jugo de tallo de maíz tipo *Zea mays L* con 1%(v/v) de *Saccharomyces cerevisiae* activada, se obtuvo de los diez ensayos un promedio de azúcares reductoras del 66,022%.

Los ensayos número 5,6,7 y 10 presentaron un mejor porcentaje de azúcares reductores en la fermentación, debido a los parámetros de temperatura de 30° C y una velocidad de agitación entre 500 y 700 rpm.

El tiempo y la temperatura final en el proceso de destilación afectan en forma significativa a la cantidad de grados alcohólicos como se observó en todos los experimentos del uno al diez.

Se analizó el rendimiento del motor marca Chevrolet serie Spark de 995 cc con la gasolina súper y el biocombustible E50, determinando la disminución de la potencia un 14,66 % y el torque en un 21,98% con respecto al combustible súper.

La potencia y torque obtenidas con el biocombustible E50 se ven afectadas debido a que la cantidad de lambda es superior a uno, ocasionado mezclas ricas debido al exceso de O₂ que se da en la combustión.

Se determinó que el biocombustible E50 presenta un desempeño mayor de 17,50 % que el combustible súper, conocidos los valores de rendimiento de 41,67 km/gal y 50,51 km/gal del combustible súper y biocombustible E50 respectivamente.

EL biocombustible presenta una cantidad mayor de NOx ppm que la gasolina súper ya que el excedente de oxígeno no combustionado se mezcla con el nitrógeno debido a las fuerte a presiones y temperaturas que existen en la cámara de compresión.

El biocombustible E50 con respecto a la gasolina súper presenta beneficios ambientales en las emisiones contaminantes del CO, CO₂ y HC.

Recomendaciones

En el proceso de extracción de jugo con el trapiche se recomienda realizar más de dos pasadas del tallo del maíz en los rodillos de aceros inoxidable con el fin de obtener mayor cantidad de jugo de caña para realizar la fermentación.

En la fermentación se recomienda tomar datos de forma diaria de °Brix, pH y temperatura para conocer el estado del proceso de fermentación y conocer la reducción de su cantidad de azúcar.

Realizar la caracterización del jugo de tallo de maíz, etanol hidratado y el bioetanol E50 para conocer sus propiedades fisicoquímicas.

Se recomienda almacenar el bioetanol en un recipiente adecuado de plástico o vidrio ámbar en un lugar fresco y seco a una temperatura menor de 25° C.

Se recomienda que el vehículo de ensayo se encuentre en las mejores condiciones de funcionamiento y temperatura aproximada de 90 °C para obtener resultados precisos de cada uno de los ensayos realizados en el motor.

Bibliografía

- Beta Analytic. (2018). *Beta Analytic*. Retrieved from Beta Analytic:
<https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/reglamentos.html>
- Botero, J., & Roa, M. (2011). *Biocombustibles*. Retrieved from
<http://biocombustibleseafit.blogspot.com/2011/04/tipos-de-biocombustibles.html>
- Bullon, R. (2012, Abril 24). *Scribd*. Retrieved from
<https://es.scribd.com/doc/91070200/Etanol-propiedades#scribd>
- Calderón, E. (2007). *Análisis energético de los agrocombustibles*. Barcelona.
- Carhuamaca, M., & Rivera, L. (2016). OBTENCIÓN DE FIBRA DIETÉTICA A PARTIR DE BAGAZO DE Zea mays l. *OBTENCIÓN DE FIBRA DIETÉTICA A PARTIR DE BAGAZO DE Zea mays l*. Huancayo, Perú.
- CEPAL. (2009). *Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles en la región*. Retrieved from CEPAL:
<https://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>
- CUASPUJ, J. (2017). OBTENCIÓN DE BIOETANOL A. *OBTENCIÓN DE BIOETANOL A*. Medellín, Colombia.
- Ecured. (2018, Febrero 1). *EcuRed*. Retrieved from EcuRed:
<https://www.ecured.cu/Gasolina>
- Encalada, F., & Pablo, Ñ. (2010). Incidencias del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustibles comercializados en la ciudad de Cuenca. *Incidencias del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustibles comercializados en la ciudad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Farjado, E., & Sarmiento, S. (2007). Evaluación de la melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. In S. Erika, *Evaluación de la melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá.
- Francisco, P., & José, D. (2011). *Motores de Combustión Interna Alternativos*. Valencia.
- Gracia, C. (2009). *Biocombustibles: ¿energía o alimento*.
- Guayaquil, R. (2014, Agosto 16). Plan Ecopaís demandará más caña. *Plan Ecopaís demandará más caña*.
- Haldenwan, M. M. (2018). *MAHA*. Retrieved from
<http://www.maha.de/productos.htm#camion-bancosdefuncionesypotencia>
- INEN. (2016). *PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. GASOLINA*. Quito.
- INIAP. (2014). *MAIZ SUAVE*. Retrieved from MAIZ SUAVE:
<http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizs>
- Mariaca, A., Cendales, E., & Eslava, A. (2016). MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI) OPERANDO CON MEZCLAS. *MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI) OPERANDO CON MEZCLAS*. Bogotá, Colombia.
- Martín, M. C., & M. F. (2002). Los Biocombustibles. In M. C. Martín, *Los Biocombustibles*. Madrid: Mundi- Prensa.

- Mathewson, S. (1980). *Journey to forever*. Retrieved from Journey to forever:
<http://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/secado-etanol.cgi>
- Meléndez, L. (2015, abril 2). ¿Qué afecta a los valores Brix? *¿Qué afecta a los valores Brix?*
- Ministerio de Agricultura y Ganadria, Acuicultura y Pesca. (2013). *Maiz duro Seco*. Retrieved from Maiz duro Seco:
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/maizduro.pdf>
- Naik, & Rout. (2009). *Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review*. Retrieved from Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002342>
- Pantagay Angtay, S. C. (1997). *Petroquímica y Sociedad*.
- Pasturas de América. (2016). Retrieved from Pasturas de América:
<http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>
- Paucar, L. (2008). OBTENCIÓN DE UN EDULCORANTE NATURAL A. *OBTENCIÓN DE UN EDULCORANTE NATURAL A*. Huancayo , Perú.
- Rocha, C. (2015). *ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE ENCENDIDO*. Quito.
- Rocha, J., Tipanluisa, L., & Llanes, E. (2017). Emission factor City- Memorias Congrseo Internacional de Ingeniería CICI 2017. *Memorias Congrseo Internacional de Ingeniería CICI 2017*.
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). *Los Biocombustibles*. Mexico.
- Wharton Business School. (10 de 7 de 2013). *Políticas públicas*. Obtenido de Políticas públicas: <http://www.knowledgeatwharton.com.es/article/el-etanol-y-la-controversia-alimento-o-combustible/>