



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN PETROQUÍMICA**

**TEMA: “ESTUDIO DE MEZCLAS DE DIFERENTES ALCOHOLES CON
LA GASOLINA BASE PRODUCIDA EN LA REFINERÍA DE LAGO
AGRIO POR LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP, PARA MEJORAR
SUS PROPIEDADES Y POTENCIALIZAR SU USO COMO
COMBUSTIBLE”**

AUTORA: HERRERA JIMÉNEZ, EVELYN ANABEL

DIRECTORA: PhD.: VALBUENA SILVA, VIRGINIA ELIZABETH

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ESTUDIO DE MEZCLAS DE DIFERENTES ALCOHOLES CON LA GASOLINA BASE PRODUCIDA EN LA REFINERÍA DE LAGO AGRIO POR LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP, PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES Y POTENCIALIZAR SU USO COMO COMBUSTIBLE**” fue realizado por la señorita **HERRERA JIMÉNEZ, EVELYN ANABEL**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de julio del 2018

PhD. VALBUENA S. VIRGINIA E.

C.C.1757973266

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **HERRERA JIMÉNEZ, EVELYN ANABEL**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE MEZCLAS DE DIFERENTES ALCOHOLES CON LA GASOLINA BASE PRODUCIDA EN LA REFINERÍA DE LAGO AGRIO POR LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP, PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES Y POTENCIALIZAR SU USO COMO COMBUSTIBLE”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 30 de julio del 2018



EVELYN ANABEL HERRERA JIMÉNEZ

C.C.:0504180324



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **HERRERA JIMÉNEZ, EVELYN ANABEL**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**ESTUDIO DE MEZCLAS DE DIFERENTES ALCOHOLES CON LA GASOLINA BASE PRODUCIDA EN LA REFINERÍA DE LAGO AGRIO POR LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP, PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES Y POTENCIALIZAR SU USO COMO COMBUSTIBLE**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 30 de julio del 2018

EVELYN ANABEL HERRERA JIMÉNEZ

C.C.:0504180324

DEDICATORIA

Al finalizar esta etapa de mis estudios dedico este trabajo a mis padres Anita Jiménez y Segundo Herrera quienes son mi pilar ejemplo maravilloso de fe, amor y sacrificio, que con su confianza incondicional y enseñanza me han guiado en mi educación personal.

A Anahy y a Erick, quienes son mi fuerza y mis cómplices, que con su cariño y apoyo me han ayudado a sobrepasar cualquier adversidad.

Y a Alejandra Gonzalez, con quien nuestra amistad la hemos convertido en hermandad, quien está para festejar mis logros y para levantarme en mis caídas.

AGRADECIMIENTO

Al culminar este trabajo agradezco a Dios, al niño de Isinche y a mi ángel guardián Julio Martínez, por ser mis protectores en todo momento, manteniendo siempre viva mi fe; a mis padres, hermana, novio y familia que con su apoyo y amor me ayudaron a conseguir una meta más en mi vida.

A la doctora Virginia Valbuena, directora de tesis, por sus conocimientos impartidos y colaboración para el desarrollo de este proyecto de tesis.

A la empresa E.P. Petroamazonas por la apertura de las instalaciones para la ejecución práctica de ensayos aplicadas en este proyecto.

Al ingeniero Francisco Mejía, supervisor de la Refinería Lago Agrio, por brindarme su apoyo incondicional y a todo el personal de la Refinería por su acogida y guía.

Y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga por ser la formadora de una nueva Ingeniera Petroquímica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Planteamiento del problema	6
1.6. Hipótesis.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Petróleo.....	8
2.1.1. Definición del petróleo.....	8
2.1.2. Composición del petróleo.....	9
2.1.3. Clasificación en función del API.....	10

2.2.	Refinación del petróleo	10
2.2.1.	Destilación atmosférica	11
2.2.2.	Productos básicos de la destilación atmosférica.....	12
2.3.	Propiedades de la gasolina base	14
2.3.1.	Densidad específica y gravedad API.....	14
2.3.2.	Presión de vapor de la gasolina	15
2.3.3.	Poder calorífico	16
2.3.4.	Contenido de azufre.....	18
2.3.5.	Corrosión a la lámina de cobre.....	19
2.3.6.	Curva de destilación ASTM	21
2.3.7.	Contenido de aromáticos, bencenos y olefinas.....	22
2.3.8.	Octanaje o índice de octanos.....	22
2.4.	Aditivos para mejorar el número de octanaje.....	25
2.4.1.	Concentración de gasolinas aditivadas.....	27
2.4.2.	Propiedades de los alcoholes.....	28
2.4.3.	Propiedades de las mezclas alcoholes – gasolina	31
2.5.	Petroamazonas EP	32

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Marco experimental.....	34
3.2.	Sustancias y reactivos.....	37
3.3.	Materiales	37
3.4.	Equipos.....	38
3.5.	Disponibilidad de equipos.....	42
3.6.	Metodología experimental.....	42
3.6.1.	Recolección de muestras	42
3.6.2.	Caracterización de gasolina base.....	44
3.6.3.	Preparación de las mezclas simples gasolina base-alcoholes.....	55
3.6.4.	Caracterización de mezclas gasolina base-alcoholes.....	55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Resultados de la caracterización de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base – alcohol	56
4.1.1.	Caracterización de gasolina base por Cromatografía de Gases	56
4.1.2.	Número de octanaje.....	62
4.1.3.	Presión de vapor	64
4.1.4.	Poder calorífico	67
4.1.5.	Contenido de azufre.....	69
4.1.6.	Corrosión a la lámina de cobre.....	70
4.1.7.	Destilación ASTM 86.....	71
4.1.8.	Gravedad API, densidad y densidad relativa.....	74
4.3.	Resultados y discusión de mezclas compuestas	76
4.3.1.	Número de octanaje.....	76
4.3.2.	Presión de vapor	77
4.3.3.	Poder calorífico	78
4.3.4.	Corrosión a la lámina de cobre.....	79
4.3.5.	Destilación ASTM 86.....	80
4.4.	Análisis del desempeño de las mejores mezclas (simples y compuestas) como combustible en motores de 2 y 4 tiempos.....	85
4.4.1.	Desempeño en motor de gasolina de 2 tiempos	86
4.4.2.	Desempeño en motor de gasolina de 4 tiempos	91

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	97
5.2.	Recomendaciones.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		100
ANEXOS.....		103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición elemental del petróleo	9
Tabla 2 Clasificación del petróleo en función API.....	10
Tabla 3 Poder calorífico de combustibles líquidos.....	17
Tabla 4 Clasificación de tira de cobre	20
Tabla 5 Valores del RON y MON, para hidrocarburos que forman la gasolina.....	23
Tabla 6 Ventajas y desventajas de los aditivos para la gasolina.....	25
Tabla 7 Propiedades físicas y químicas del etanol	29
Tabla 8 Propiedades físicas y químicas del propanol.....	29
Tabla 9 Propiedades físicas y químicas del isopropanol	31
Tabla 10 Resultados obtenidos en el cromatograma para la gasolina base	58
Tabla 11 Número de octanaje de las muestras simples	62
Tabla 12 Datos de presión de vapor de muestras simples	64
Tabla 13 Resultados de poder calorífico de las muestras simples.....	67
Tabla 14 Resultados de lámina de cobre	71
Tabla 15 Resultados de destilación ASTM para la gasolina base	71
Tabla 16 Resultado de los ° API de la gasolina base.....	74
Tabla 17 Mezclas compuestas formuladas	75
Tabla 18 Número de octanaje de mezclas compuestas.....	76
Tabla 19 Datos de presión de vapor de las mezclas compuestas.....	77
Tabla 20 Datos de poder calorífico de las mezclas compuestas.....	78
Tabla 21 Resultados de lámina de cobre de mezclas compuesta.....	79
Tabla 22 Destilación ASTM Gasolina base – 10 % etanol- 5 % isopropanol.....	80
Tabla 23 Destilación ASTM Gasolina base – 7,5 % etanol - 7,5 % isopropanol.....	81

Tabla 24 Destilación ASTM Gasolina base – 5 % etanol - 10 % isopropanol.....	82
Tabla 25 Características del motor a gasolina de 2 tiempos.....	86
Tabla 26 Características del motor a gasolina de 4 tiempos.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un reservorio de petróleo	8
Figura 2. Bomba calorimétrica adiabática.....	17
Figura 3. Test estándar de color para el estudio de corrosión de lámina de cobre	21
Figura 4. Cromatograma de la gasolina base	57
Figura 5. .Número de octanaje de la gasolina base – alcoholes	63
Figura 6. Poder calorífico mezclas simples gasolina base-alcoholes	68
Figura 7. Curva de calibración de azufre	70
Figura 8. Perfil de ebullición obtenido a través de Destilación ASTM 86.....	72
Figura 10. Perfil de ebullición de mezclas compuestas.....	83
Figura 11. Curva de torque vs. Velocidad.....	87
Figura 12. Curva potencia al freno (kw) vs. Velocidad	87
Figura 13. Curva Relación A/C vs Velocidad.....	88
Figura 14. Curva de consumo másico de combustible vs Velocidad	89
Figura 15. Curva consumo específico de combustible vs Velocidad.....	89
Figura 16. Curva eficiencia térmica vs Velocidad	90
Figura 17. Curva de torque vs. Velocidad.....	92
Figura 18. Curva potencia al freno vs. Velocidad.....	93
Figura 19. Curva relación A/C vs. Velocidad	93
Figura 20. Curva del consumo específico de combustible vs. Velocidad	94
Figura 21. Curva de consumo másico de combustible vs. Velocidad	95
Figura 22. Curva eficiencia térmica vs. Velocidad	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Requisitos para naftas

Anexo B. Requisitos norma INEN 935

Anexo C. Requisitos para Jet fuel

Anexo D. Purga para muestreo

Anexo E. Transporte de gasolina base

Anexo F. Equipo de presión de vapor Reid

Anexo G. Bomba calorimétrica adiabática

Anexo H. Espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X

Anexo I. Corrosión por lámina de cobre

Anexo J. Destilador Optidist

Anexo K. Mezclas gasolina base - alcohol

RESUMEN

La empresa Petroamazonas EP posee una Refinería en el bloque 56 de Lago Agrio y procesa actualmente crudo de 29,4 ° API, produciendo los siguientes combustibles: gasolina base, jet fuel y diésel. La mayor parte de gasolina base se subutiliza, por lo cual se realizó en primer lugar la elaboración de mezclas de diferentes alcoholes (lineales y ramificados) con la gasolina base en cuestión, en un intento de mejorar sus propiedades como combustible, partiendo de la caracterización de la muestra original, la posterior caracterización de las mezclas realizadas en términos de calidad y desempeño como combustible. Los resultados de la caracterización de la gasolina base demostraron que pertenece a una nafta industrial liviana según la norma INEN 2253. Por su parte, los resultados de la caracterización de las mezclas alcohol-gasolina base realizadas (número de octanaje, presión de vapor y poder calorífico) mostraron un incremento en el número de octanaje y una disminución en la presión de vapor y poder calorífico, evidenciando que la mejor de ellas corresponde al 15 % etanol - 85 % gasolina base y 10 % Etanol - 5 % isobutanol - 85 % gasolina base. Las mezclas eficientes fueron evaluadas en un motor a gasolina de 4 tiempos, donde se verificó que estas poseen un mejor desempeño que la gasolina extra comercial, siendo necesario modificar la relación aire/combustible en el motor.

PALABRAS CLAVE:

- **GASOLINA (NAFTA)**
- **ALCOHOLES LINEALES**
- **ALCOHOLES RAMIFICADOS**
- **COMBUSTIBLES**
- **PETRÓLEO**

ABSTRACT

Petroamazonas EP company has a Refinery in Block 56 of Lago Agrio and currently processes crude oil of 29,4 ° API, producing the following fuels: base gasoline, jet fuel and diesel. The majority of base gasoline is underutilized, so the present project first aimed to make mixtures of different alcohols (linear and branched) with the base gasoline in question, in an attempt to improve its properties as a fuel, starting from the characterization of the original sample, the subsequent characterization of the mixtures made in terms of quality and performance as fuel. The results of the characterization of the base gasoline showed that it belongs to a light industrial naphtha according to the INEN 2253 norm. On the other hand, the results of the characterization of the base alcohol-gasoline mixtures made (octane number, steam pressure and power calorific) showed an increase in the number of octane and a decrease in vapor pressure and calorific power, showing that the best of them corresponds to 15% ethanol - 85% gasoline base and 10% Ethanol - 5% isobutanol - 85% gasoline base. The efficient mixtures were evaluated in a 4-stroke gasoline engine, where it was verified that these have a better performance than commercial extra gasoline, it is necessary to modify the air / fuel ratio in the engine.

KEYWORDS:

- **GASOLINE (NAFTA)**
- **LINEAR ALCOHOLS**
- **BRANCHED ALCOHOLS**
- **COMBUSTIBLES**
- **PETROLEUM**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La Refinería Lago Agrio del bloque 56 de la empresa Petroamazonas EP está diseñada para procesar 1000 barriles de petróleo por día (BPD) de 29 ° API, produce los siguientes combustibles: gasolina base, jet fuel y diésel. Hasta el año 1995 la gasolina base se mezclaba con TEL (tetraetilo de plomo) para aumentar su número de octanaje y de esta manera ser utilizada en el parque automotor de la empresa ex-Petroproducción; sin embargo, debido a que el TEL es un compuesto altamente tóxico para la salud, dejó de ser utilizado. En los últimos años, aproximadamente el 30 % de la producción de gasolina base es usado como combustible en el horno de calentamiento de crudo y el restante 70 % se despacha conjuntamente con el residuo al SOTE (Sistema de Oleoducto Transecuatoriano).

Debido a que la mayor parte de la producción de gasolina base no se le da un uso específico, el departamento de Operaciones del bloque 56 está empeñado en darle una utilidad y como primer paso se requiere actualizar la caracterización de la gasolina base conjuntamente con la mezcla de un aditivo oxigenado, que posteriormente sirva como base para un futuro proyecto de utilización en el parque automotor.

Los aditivos oxigenados también conocidos como potenciadores de octanaje, poseen como función principal aumentar el número de octanaje de la gasolina, mejorando de esta manera el desempeño en el motor y disminuyendo la contaminación ambiental. En la antigüedad se utilizaba

el tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo para modificar el octanaje del combustible, pero por problemas de contaminación ambiental y salud, actualmente se prohíbe la utilización de dichos compuestos.

Para solucionar los problemas de emisiones de monóxido de carbono y bajo índice de octanaje, en muchos países se utiliza la adición de compuestos oxigenados, en donde realizan mezclas de gasolina con alcoholes, esterres y éteres de bajo peso molecular, incrementado así el octanaje del combustible y logrando una combustión completa de hidrocarburos.

Entre los estudios existentes sobre la gasolina base se menciona el proyecto de tesis de grado realizado por Amanqui Rodriguez y Aguilar Alcoser (2011), los cuales realizaron un ‘estudio técnico – económico de prefactibilidad de un proceso de transformación para el incremento de octanaje de gasolinas en refinerías de la selva del Perú’. Con el objetivo de proponer una alternativa de un proceso de transformación para la gasolina base producida en la selva del Perú (la cual se caracteriza por tener un número de octanaje entre 60 a 65), de esta manera se logra incrementar el número de octanaje. Tras la elaboración del proyecto concluye que, es viable la implementación de un proceso de isomerización en términos de disponibilidad, composición de materia prima y costos de inversión. Además se predice la producción de gasolina isomerizada con un número de octanaje (RON) de 91,5 y gasolina no isomerizada de 75,6 RON; obteniendo así gasolina en condiciones óptimas para ser utilizado como combustible.

Así mismo, existen varios estudios sobre la aplicación de aditivos oxigenados a la gasolina, como el de Aguirre, G. M. (2017) que realizó un estudio a la gasolina extra proveniente de la Refinería de Esmeraldas, evaluando sus propiedades al adicionar tres diferentes mezclas de

alcoholes, los cuales fueron: etanol-metanol, etanol-butanol y etanol-metanol-butanol en porcentajes de hasta 5 % del alcohol. Las mezclas realizadas se analizaron mediante los siguientes parámetros: presión de vapor, número de octanaje, curva de destilación, estabilidad, contenido de azufre, contenido de aromáticos, benceno, olefinas y oxígeno. Los resultados de dichas pruebas demostraron variaciones en las propiedades fisicoquímicas de la gasolina extra, en función del porcentaje y del tipo de mezcla de alcohol usado. Con respecto al octanaje o número de octanos se obtuvo que la gasolina extra aumentó 2,7 unidades del número de octanaje Research (RON); 0,4 unidades de RON y 3,5 unidades de RON al agregar 5 % de etanol, butanol y metanol, respectivamente. En cuanto a la presión de vapor concluyó que las mezclas que tenían desde el 3 % de metanol poseen valores entre 65,4 kPa y 70,7 kPa, límites que no cumplen con la norma técnica ecuatoriana INEN 935 en la que se establece un parámetro máximo de 60 kPa según el método de ensayo ASTM D323.

Por otro lado, Hernández P. (2008) evaluó mezclas de gasolina magna y Premium (las cuales poseían inicialmente un número de octanaje de 87 y 92, respectivamente) con etanol anhidro en concentraciones del 10 % y 15 %, mediante parámetros del número de octanaje de investigación (RON), número de octanaje del motor (MON), presión de vapor, curva de destilación y poder calorífico. El estudio concluye que, al realizar las mezclas gasolina magna con 10 % de etanol aumentó un 2,1 % de MON y al realizar la mezclar con 15 % de etanol existió un incremento del 3% de MON. Además, al mezclas gasolina Premium con 10 % de etanol aumentó 1,2 % de MON y al mezclar con 15 % de etanol se obtuvo un aumento de 1,5 % de MON.

Así mismo, el comportamiento de la presión de vapor de las mezclas fue variable, para el caso de mezclas con gasolina magna disminuyó y en mezclas con gasolina Premium aumentó. De esta

manera la adición de etanol a la gasolina resulta una alternativa viable, teniendo como principal ventaja el aumento del índice antidetonante y la poca disminución del poder calorífico.

A través de estos estudios se puede confiar que la adición de oxigenados produce cambios en las propiedades físicas y químicas de los combustibles, convirtiéndose esto como un método viable para modificar las propiedades de una gasolina, aprovechando así la producción ecuatoriana del combustible.

El presente estudio se basa en caracterizar la gasolina base de la Refinería Lago Agrio, realizar mezclas a este combustible con alcoholes lineales (etanol, propanol, butanol) y alcoholes ramificados (isopropanol e isobutanol) en concentraciones del 7 % y 15 %, respectivamente. Evaluando cada mezcla en términos de número de octanaje, presión de vapor y poder calorífico, seleccionando así la mejor mezcla del grupo con alcoholes lineales y del grupo de alcoholes ramificados; con las cuales se preparará unas últimas mezclas para posteriormente caracterizarlas y evaluar sus propiedades.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estudiar mezclas de diferentes alcoholes con la gasolina base producida en la Refinería de Lago Agrio por la empresa Petroamazonas EP y determinar la variación de sus propiedades.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la gasolina base que actualmente produce la Refinería de Lago Agrio del bloque 56 de la empresa Petroamazonas EP.

- Caracterizar las mezclas gasolina base – alcoholes en propiedades de número de octanaje, presión de vapor PVR y poder calorífico.
- Comparar las propiedades de la gasolina base con las diferentes mezclas (gasolina base-alcohol) para determinar la mezcla más eficiente de acuerdo a la metodología experimental.
- Analizar las propiedades de la mezcla más eficiente con la norma NTE INEN 2253, la cual establece parámetros para naftas industriales.

1.3. Justificación

Actualmente, en Lago Agrio en el bloque 56 la empresa Petroamazonas EP posee una refinería primaria, en la cual se produce combustible para el consumo interno de la empresa. La refinería cuenta con una unidad de destilación atmosférica en donde se procesan mil barriles de petróleo por día (BPD), provenientes de la estación Lago Norte. La unidad de destilación produce gasolina base, jet fuel y diésel. El 30 % de gasolina base es utilizada en el horno de calentamiento para el crudo y el 70 % restante es enviada al SOTE. La gasolina base no es utilizada en el parque automotor de la empresa, ya que ésta no posee características óptimas que cumplan con la norma NTE INEN 935: requisitos para gasolinas.

Por lo tanto, en el presente trabajo se propone realizar mezclas gasolina base –alcoholes (etanol, propanol, butanol, isopropanol e isobutanol), con el fin de mejorar sus propiedades químicas y físicas, estudiar y evaluar la variación de sus propiedades comparando con la muestra original y con esta información analizar la posibilidad posterior para ser utilizada como combustible.

1.4. Planteamiento del problema

La empresa ecuatoriana pública Petroamazonas EP fue creada en el año 2007, se encuentra ubicada en el Oriente del Ecuador, realiza actividades de exploración y extracción de petróleo. En el bloque 56, ubicada en la Provincia de Sucumbíos cantón Nueva Loja, la empresa cuenta con la Refinería Lago Agrio, la cual tiene una unidad de destilación atmosférica en donde se procesan 1000 barriles de petróleo por día (BPD), provenientes de la estación Lago Norte. La columna de destilación consta de 23 platos (contados desde abajo hacia arriba), los productos que se obtienen son: gasolina base por la cima de la columna, jet fuel por el plato 14 o 16 y diésel por el plato 8.

De la producción de la planta de destilación atmosférica de la refinería, el 15 % del producto diario corresponde a gasolina base, la cual posee un RON (número de octanaje) inferior a 70. El 30 % de esta gasolina base se utiliza como combustible para el horno de calentamiento del crudo y el 70 % restante es bombeado junto con el residuo al SOTE.

Años atrás se realizaba mezclas a la gasolina base con TEL (tetra etilo de plomo) para aumentar su número de octanaje y utilizarlo en el parque automotor de la empresa, debido a estudios en donde se demostró que este químico es altamente cancerígeno se dejó de utilizarlo. Desde entonces, a la producción de gasolina base no se la ha mezclado con ningún otro aditivo y no existe una caracterización actualizada.

El presente trabajo busca añadir alcoholes a la gasolina base de la Refinería Lago Agrio, realizar mezclas gasolina base – alcoholes empleando etanol, butanol, propanol, isobutanol e isopropanol a diferentes concentraciones, caracterizar y obtener una mezcla óptima que posea mejores propiedades, la cual servirá como base para posteriores proyectos.

1.5. Variables de investigación

Variables Independientes

- Tipo de alcoholes utilizados (lineales o ramificados).
- Cantidad de alcoholes para hacer mezclas.
- Concentración de alcoholes en las mezclas.

Variables Dependientes

- Octanaje de las mezclas.
- Poder calorífico de las mezclas.
- Presión de vapor de las mezclas.

1.6. Hipótesis

¿La adición de alcoholes a la gasolina base producida por la empresa Petroamazonas EP en la Refinería Lago Agrio, producirá cambios significativos en las propiedades físico químicas, las cuales se las podrá comparar con norma NTE INEN 2253, en donde se define los parámetros de deben tener las naftas industriales?

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Petróleo

2.1.1. Definición del petróleo

El nombre petróleo viene del latín *petra*, piedra y *óleum*, aceite. Es una mezcla de compuestos orgánicos e hidrocarburos primarios, contiene pequeñas cantidades de compuestos sulfurados, oxigenados, sales, organometálicos, sedimentos y agua emulsionada.

Se encuentra en yacimientos a diferentes profundidades en el interior de la tierra (Pemex Refinación). Se origina de la descomposición de animales y plantas marinas microscópicas de hace 225 o 136 millones de años, la teoría sostiene que las bacterias convirtieron las grasas de la vida marina en ácidos grasos y estos se transformaron en material asfáltico denotado como kerógeno. A través del transcurso de millones de años en presencia de calor, presión y agentes catalíticos presentes en las rocas, transformaron el kerógeno en petróleo y gas (Borgna, Cosimo, & Figoli, 2001). En la figura 1 se muestra el esquema de una reservorio de petróleo.

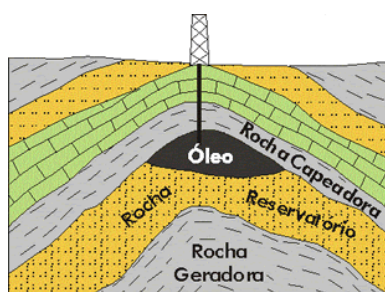


Figura 1. Esquema de un reservorio de petróleo

Fuente: (Borgna, Cosimo, & Figoli, 2001)

2.1.2. Composición del petróleo

La composición del petróleo varía según la naturaleza del mismo, según la composición elemental se encuentra compuesta básicamente por carbono e hidrógeno. Además, posee pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno y trazas de metales como vanadio y níquel. A continuación, en la tabla 1 se detalla los porcentajes de composición elemental del petróleo.

Tabla 1
Composición elemental del petróleo

Elemento	% en peso
C	83 – 87
H	10 – 16
S	< 6
O	< 1
N	< 0,7
Metales	< 0,03

Fuente:(Calle G. , 2004)

Además, de acuerdo a la estructura en las mezclas de hidrocarburos, el petróleo se puede clasificar según la composición química en base parafinica, nafténica o aromática. Los hidrocarburos de tipo parafinicos, también conocidos como alcanos son compuestos saturados de fórmula general C_nH_{2n+2} formados por cadenas rectas o ramificada, el estado de las parafinas a presión atmosférica depende del número de átomos de carbonos, de 1 a 4 átomos de carbono corresponde a estado gaseoso, de 5 a 15 átomos de carbono corresponde a estado líquido y más de 15 átomos de carbono a sólidos.

Los hidrocarburos de tipo naftenicos o cicloparafinas son compuestos saturados de formula general C_nH_{2n} , son ciclos de 5 o 6 átomos de carbonos saturados con hidrógenos. Por último, los hidrocarburos aromáticos son compuestos no saturados de formula general C_nH_{2n-6} , son anillos de 6 átomos de carbonos los cuales pueden presentar cadenas parafínicas.

2.1.3. Clasificación en función del API

Generalmente se clasifica al petróleo según el tipo de gravedad específica API, pues esto significa que mientras más alto es este valor, el petróleo es más liviano y por ende en el refinado producirá mayor rendimiento en productos livianos. Es así que se clasifica en livianos, medios, pesados y extrapesados los cuales se detallan a continuación en la tabla 3.

Tabla 2
Clasificación del petróleo en función API

CLASE	API
Livianos	30 – 49,9
Medios	20- 29,9
Pesados	10- 19,9
Extrapesados	<9,9

Fuente:(Calle G. , 2004)

2.2. Refinación del petróleo

Actualmente, el petróleo es la principal fuente de energía a nivel mundial por su alta rentabilidad, volumen de producción y fácil aplicación de procesos para la explotación.

El petróleo es un recurso no renovable, por lo tanto tiene que darse una utilización racional, para lo cual es de vital importancia seleccionar los tratamientos de separación, conocer su composición química, definir sus propiedades fisicoquímicas, evaluar rendimientos en productos y caracterizar cada una de sus fracciones obtenibles.

Los derivados del petróleo poseen una gran cantidad de usos, es por esto que para su comercialización se debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma técnica ecuatoriana NTE. Para la obtención de estos la unidad principal utilizada es la destilación atmosférica, en el cual se logra la separación de fracciones básicas del petróleo (gasolina base, jet fuel, diésel y residuo) por medio de la diferencia de volatilidad de sus componentes.

A la vez, estas fracciones obtenidas sirven como producto final o como materia prima para procesos posteriores. Con el fin incrementar el rendimiento en los productos, generalmente se incorporan en el diagrama de una refinería unidades de reformado catalítico, isomerización, alquilación, hidrodesintegración y desintegración térmica.

2.2.1. Destilación atmosférica

La destilación atmosférica es una unidad de separación, el principio de su funcionamiento depende de la temperatura de ebullición y de la volatilidad de los componentes que contiene una mezcla. Mediante este método se consigue separar una mezcla en compuestos individuales o en grupos de compuestos, los cuales pueden ser productos de consumo directo o cargas para otras unidades de proceso, con el fin de obtener un mayor rendimiento en determinado producto.

Las variables del proceso de destilación son la presión, temperatura, composición, cantidad y densidad de cada fase (vapor – líquido) (Calle G. , 2004).

2.2.2. Productos básicos de la destilación atmosférica

El petróleo al ser sometido a un proceso de destilación atmosférica se obtiene productos básicos como son: gasolina base, jet fuel, diésel y residuos.

2.2.2.1. Gasolina base

El término gasolina base también conocido como naftas o gasolina virgen en el mercado industrial, se le designa a los productos más ligeros de la destilación atmosférica del crudo. La gasolina base es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, se obtiene de los primeros cortes de la destilación, contiene hidrocarburos desde C_5 hasta C_{11} . Posee un rango de destilación aproximadamente de 27 a 225 ° C, industrialmente la gasolina base es tratada con el fin de mejorar sus propiedades y aumentar su número de octanaje.

Es uno de los derivados del petróleo más importante debido a su comercialización y su consumo a nivel mundial. Debido a la confusión de la terminología vale recalcar que la gasolina base es un precursor de la gasolina que es utilizada generalmente como combustible en motores de combustión interna, la misma que se la obtiene mediante procesos de reformación catalítica, desintegración catalítica, alquilación o aditivos oxigenados.

En el anexo A se muestra los requisitos de la norma NTE INEN 2253 la cual establece parámetros que deben cumplir las naftas industriales que se comercializan en el país.

Además, en el anexo B se visualizaran los parámetros mínimos y máximos que establece la norma INEN 935 para la gasolina extra y super.

2.2.2.2. Jet fuel

El jet fuel también conocido como querosina o querosén, es un hidrocarburo que se obtiene del segundo corte o fracción de la destilación atmosférica del petróleo crudo. Sus propiedades varían dependiendo del tipo de crudo que provenga, posee un peso específico aproximado de 0,80 a 0,83 y un punto de ignición de 66° C a 80° C.

El uso del jet fuel depende de las características que esté presente, por ejemplo al quemarse, al producir energía mecánica o al generar luz; cada una de estas requiere de grados específicos de jet fuel (Pemex Refinación). Entre los principales usos que posee, son: combustible para avión de turbina, solvente de alto punto de inflamación, combustible para motores de ciclo Otto y como fungicidas o insecticidas.

Para el uso de jet fuel como combustible en aviones de turbina se aplica la norma NTE INEN 2069, en donde establece los requisitos que debe cumplir el jet fuel JP4. En el anexo C se detalla los parámetros de las propiedades del jet fuel.

2.2.2.3. Diésel

El diésel es un derivado de la destilación atmosférica del petróleo crudo, es un combustible que posee mezcla compleja de hidrocarburos, oleofínicos, naftenicos y aromáticos. Principalmente se utiliza en máquinas de combustión interna, dependiendo del uso se clasifica en tres tipos:

- **Diésel N° 1:** también conocido como super-diésel, es un combustible utilizado en equipos de combustión industrial o doméstica que posean motores muy revolucionados.
- **Diésel N° 2:** combustible utilizado en el sector industrial, generalmente contiene material craqueado y puede ser mezclado a partir de naftas, queroseno y aceites cíclicos ligeros.
- **Diésel Premium:** combustible con bajo contenido de azufre, usado en el parque automotor

2.3. Propiedades de la gasolina base

Generalmente, la caracterización de los derivados del petróleo sirve para evaluar la calidad y eficiencia de los mismos. Para determinar la eficacia de la gasolina base como combustible se estudian sus propiedades más relevantes, las cuales son: la gravedad específica API, presión de vapor, poder calorífico, contenido de azufre, corrosión a la lámina de cobre, curva de destilación y contenido de aromáticos, bencenos y olefinas y número de octanaje.

2.3.1. Densidad específica y gravedad API

La densidad específica (G.E.) es un término relativo, principalmente utilizado en combustibles, se define como la relación entre el peso del combustible o de cualquier otro líquido respecto al peso del agua, ambas medidas a la misma temperatura y presión de referencia.(Domínguez, 2013). La densidad relativa es una relación entre dos densidades, por lo que no tiene unidades.

Para el petróleo crudo, productos del petróleo o mezclas de productos de petróleo la densidad relativa comúnmente se expresa como grados API. Las siglas API significan Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute), se encuentra definido como la relación de densidad de un compuesto con la densidad del agua a una temperatura de 60 ° F. La gravedad API es una unidad inversamente proporcional a la gravedad específica de un fluido, para petróleos crudos livianos posee un API aproximado de 40 ° y 10 ° para petróleos crudos pesados (Satter & Iqbal, 2016).

La gravedad API es una función específica de a densidad relativa a 60 ° F, representada por la ecuación 2.1.

$$^{\circ}\text{API} = 141,5/(\text{G. E. a } 60^{\circ}\text{ F}) - 131,5 \quad (2.1)$$

Además, se realiza pruebas en el laboratorio mediante el método definido por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM D1298–12b, en donde especifica el método estándar para densidad, densidad relativa o gravedad API de petróleo crudo y productos líquidos del petróleo por el método del hidrómetro.

2.3.2. Presión de vapor de la gasolina

La presión de vapor es la capacidad que posee un líquido en volatilizarse para pasar a una fase vapor en equilibrio. La medición de la presión de vapor de la gasolina se realiza mediante la magnitud ‘Presión de Vapor Reid’ (PVR), la misma que representa una presión aproximada de vapor verdadero de la gasolina (TVP); es decir, la presión de vapor Reid mide la volatilidad de un combustible y mientras mayor sea el RVP mayor es la capacidad del combustible.

El método para realizar las pruebas de RVP se encuentra definida por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) en la norma ASTM D323-56, en donde establece el procedimiento estándar para determinar la presión de vapor de la gasolina, aceites crudos volátiles y otros productos del petróleo volátiles, es un método manual que determina la presión de vapor a 37,8 ° C (100 ° F) en una bomba que permite vaporización parcial.

Cuando el componente a medir es puro la presión de vapor Reid corresponde a la presión verdadera, pero cuando el componente es una mezcla, la presión de vapor es menor que la presión de vapor verdadera de la mezcla (para la gasolina aproximadamente con un 10 %) (Himmelblau, 2002).

2.3.3. Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible, se define como la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa de los compuestos de la unidad de masa o volumen de dicho combustible, a presión atmosférica en una bomba calorimétrica en condiciones específicas (García, 2001). El ensayo se realiza mediante la norma ASTM D240 – 17, en la cual se especifica los estándares para la prueba de calor de combustión de combustibles de hidrocarburos líquidos mediante una bomba calorimétrica.

El ensayo de poder calorífico se lo realiza en una bomba calorimétrica adiabática, lo cual se sumerge en una camisa que se encuentra llena de agua destilada y bicarbonato de sodio, al ejecutarse la combustión un termistor detecta la elevación de temperatura del agua del calorímetro. Además, el equipo posee un termómetro especial de gran tamaño el cual puede percibir cambios de temperatura de hasta 0,01 ° C.

Existe dos tipos de poder calorífico los cuales dependen del estado en que aparezca el agua en los combustibles, ya sea porque el combustible tiene pequeñas cantidades de humedad o por el agua que se forma en la oxidación del hidrógeno.

Poder calorífico inferior (PCI), es la cantidad de calor que se obtiene de la combustión completa de un combustible, si en los productos de la combustión se encuentran en forma de vapor. Sin embargo, este calor generado por la oxidación se utiliza en la evaporación del agua, por lo que no hay una contribución adicional de calor.

Poder calorífico superior (PCS), es la cantidad de calor si en los productos de la combustión se encuentra en forma líquida; en este caso, se aprovecha el calor de oxidación de los compuestos del combustible.

En la tabla 10 se especifica algunos poderes caloríficos de combustibles líquidos.



Figura 2. Bomba calorimétrica adiabática

Fuente: (Peña Santamaría & Céspedes Galeano, 2007)

Tabla 3

Poder calorífico de combustibles líquidos

Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Aceite de esquistos	--	38830
Alcohol comercial	23860	26750
Alquitrán de hulla	--	37025
Alquitrán de madera	36420	--
Etanol puro	26790	29720
Metanol	19250	--
Fuel-iol n°1	40600	42695

Fuel-íol n°2	39765	41860
Gasóleo	42275	43115
Petróleo bruto	40895	47970
Queroseno	43400	46500

Fuente:(García, 2001)

2.3.4. Contenido de azufre

El azufre es uno de los compuestos más contaminantes que existe en la naturaleza, contamina el ambiente, perjudica el material de equipos y afecta a la salud de los seres humanos, por esta razón, industrialmente es necesario la eliminación o reducción del contenido de azufre.

El crudo de petróleo es una mezcla homogénea de hidrocarburos, compuestos formados por carbono, hidrogeno y otros compuestos en menor proporción como azufre, oxígeno, nitrógeno y metales. A causa de esto, la gasolina contiene pequeñas cantidades de azufre; sin embargo, al quemar el combustible el azufre se emite como bióxido de azufre (SO₂) o como partículas de sulfatos.

Para determinar el contenido de azufre se aplica la norma ASTM D-2622, la cual establece el método de prueba estándar para el azufre en productos de petróleo por espectrometría de fluorescencia de dispersión por rayos X de longitud de onda. El método de prueba determina la cantidad de azufre total en el petróleo y en productos de petróleo que se encuentren en la misma fase ya sean líquidos, en condiciones ambientales.

2.3.5. Corrosión a la lámina de cobre

Para determinar esta característica se utiliza la norma ASTM D130, la cual establece el método de prueba para detección de corrosión de cobre para productos del petróleo por prueba de deslizamiento de lámina de cobre.

La prueba de lámina de cobre es diseñada para evaluar el daño relativo por corrosión para los productos del petróleo. Generalmente el azufre que contiene el petróleo crudo es removido durante la refinación; sin embargo, los compuestos sulfurados restantes en los productos del petróleo tienen acción corrosiva aunque el efecto varía según la química presente en el compuesto sulfurado (ASTM, 1993).

La prueba consiste en introducir la lámina de cobre en un volumen de combustible, se lo deja reposar a una temperatura dada por un intervalo de tiempo y se visualiza el ataque sufrido en la lámina; esto indica la tendencia que tiene el combustible al atacar los metales que están en contacto. ‘La corrosión a la lámina de cobre es producida principalmente por los mercaptanos, para evitar la corrosión se los eliminan por tratamiento cáustico’ (Lluch Urpi, 2011).

La norma ASTM D130 aplica para productos derivados del petróleo que la presión de vapor no sea mayor de 124 kPa a 37,8 °C, para los productos que superan este límite se aplica la norma ASTM D1838, la cual especifica que la temperatura de trabajo es de 37,8 °C (100 °F). Por lo general, la gasolina natural es un producto que posee presiones de vapor mayor a 124 kPa (ASTM, 1993).

A continuación, se muestran la tabla 4 y la figura 3 en donde se encuentra la clasificación de lámina de cobre de la norma ASTM D130 y el test estándar de color para el estudio de corrosión de lámina de cobre, respectivamente.

Tabla 4
Clasificación de tira de cobre

Clasificación	Designación	Descripción
Tira recién pulida	...	La tira recién pulida se incluye en la serie solo como una indicación de la apariencia de la tira pulida correctamente antes de una prueba.
1	Leve deslustre	a. Naranja claro, casi lo mismo que la tira recién pulida b. Naranja oscuro
2	Deslustre moderado	a. Rojo clarete b. Lavanda
	...	c. Multicolor con azul lavanda o plata, o
	...	ambos, superpuestos en rojo clarete
	...	d. Plateado
	...	e. Metálico o dorado
	...	
3	Deslustre oscuro	a. Magenta nublado en la tira de cobre
	...	b. Multicolor con proyección roja y verde, pero no gris

CONTINÚA →

4	Corrosión	a. Transparente negro, gris oscuro o marrón con proyección verde
	...	b. Grafito o negro sin brillo
	...	c. Brillante o negro azabache

Fuente: (ASTM, 1993)

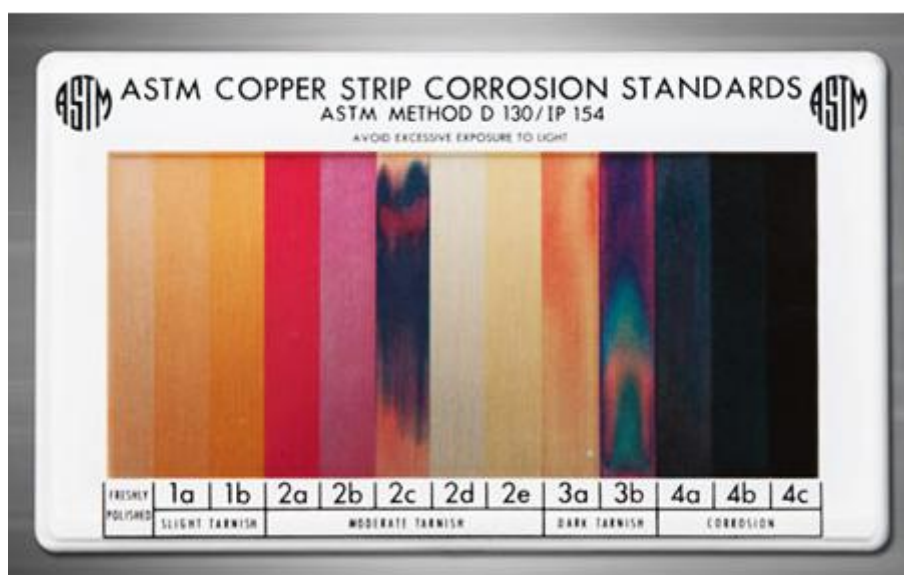


Figura 3. Test estándar de color para el estudio de corrosión de lámina de cobre

Fuente:(ASTM, 1993)

2.3.6. Curva de destilación ASTM

La destilación es una operación unitaria en la cual los compuestos de una mezcla se volatilizan dependiendo del punto de ebullición, en la prueba de ensayo se determina la curva de destilación de un combustible en donde se relaciona la composición de la gasolina, la volatilidad y la presión de vapor, obteniendo la temperatura a la cual se evapora un porcentaje de gasolina.

Para la determinación de la curva de destilación se aplica la norma ASTM D 86-11b, la cual especifica el método de prueba estándar para la destilación de productos del petróleo a presión atmosférica. Para la realización de la prueba se requiere una muestra de 100 ml los que se coloca en un matraz, las condiciones para que se efectúe la destilación depende del tipo de muestra que se tenga. Como resultados de la prueba se determinan las temperaturas a los diferentes porcentajes de destilado, como información adicional se obtiene la temperatura del punto de burbuja (la primera gota del refrigerador), la temperatura final (última burbuja del refrigerador), porcentaje de destilado, porcentaje del residuo y la pérdida que se genera por diversos factores.

2.3.7. Contenido de aromáticos, bencenos y olefinas

Los aromáticos y bencenos son hidrocarburos con estructuras tipo anillo conectados a través de dobles enlaces carbono – carbono alternados. Estos compuestos en la gasolina ayudan a mejorar el número de octanaje; sin embargo, el exceso de contenido de aromáticos produce aumento en depósitos en la cámara de combustión del motor y por ende aumento de emisiones de gases por el tubo de escape. Además, la combustión de compuestos aromáticos puede conducir a la formación de benceno en los gases de escape.

2.3.8. Octanaje o índice de octanos

El número de octanaje es la principal propiedad que evalúa la calidad y eficacia de la gasolina, es obtenido bajo una prueba de comparación entre la gasolina y una mezcla de hidrocarburos de composición conocida, de la cual se obtiene la medida o la capacidad antidetonante, lo cual define la presión y temperatura a la que una gasolina puede resistir la detonación durante la combustión.

Existen dos pruebas para determinar el octano. La primera es el número de octanaje Research RON (Research Octane Numbre), la cual se realiza en un motor que simula a condiciones bajas de velocidad y aceleraciones frecuentes; y la segunda es el número de octanaje probado en un motor estático MON (Motor Octane Number), en la cual se reproduce las condiciones de alta velocidad y carga (Pemex Refinación).

La diferencia entre ambas pruebas es que indican los cambios en el comportamiento de diferentes condiciones de manejo; además, para las pruebas de medición se utiliza hidrocarburos los cuales tengan un índice de octano conocido, generalmente son el isooctano y n-heptano que poseen un número de octanaje de 100 y 0 respectivamente (Pemex Refinación).

La regulación y normalización del número de octanaje para la gasolina extra y gasolina super, la define la norma INEN 935, la cual establece un mínimo de 87 y 93 RON, respectivamente.

A continuación, en la tabla 5 se indican diferentes valores del número de octanaje medido en laboratorio y el número de octanaje probado en un motor estático, de algunos combustibles.


Tabla 5

Valores del RON y MON, para hidrocarburos que forman la gasolina

Nombre del combustible	RON	MON
Etano	114,9	99
n-Propano	111	96,6
2-Metil propano	102,1	97

CONTINÚA →

2,2-Dimetil propano	85,5	80,2
n-Butano	94	89,1
2-Metil butano	93	93,4
2,2-Dimetil butano	91,8	94,2
2,3-Dimetil butano	104,3	101,3
2,2,3-Trimetil butano	112,1	63,2
n-Pentano	61,8	73,5
2-Metil pentano	73,4	73,3
3-Metil pentano	74,5	88,5
2,3-Dimetil pentano	91,1	83,8
2,4-Dimetil butano	83,1	86,6
3,3-Dimetil butano	80,8	95,6
n-Hexano	0	0
n-Octano	0	0
n-Heptano	0	0
2,2,4-Trimetil pentano (n-pentano)	100	100
Etanol	112	-
Éter metil ter-butílico	115	-

CONTINUA 

Metanol	116	-
Benceno	106	-
Tolueno	118	-
p-Xileno	116	-

Fuente: (Demirbas, Balubaid, Basahel, & Ahmad, 2015)

2.4. Aditivos para mejorar el número de octanaje

Los aditivos son compuestos oxigenados que modifican las propiedades de los combustibles, siendo estos los alcoholes, esterres y éteres. Las ventajas de los éteres sobre los alcoholes se reflejan en la disminución de emisiones de hidrocarburos y la formación de ozono. Los éteres más utilizados son el MTBE (metil-terbutil-eter) y TAME (ter-amil-metil-eter)(García Martínez , 2000).

Sin embargo, desde el año 2000 la Agencia de protección ambiental (EPA) prohíbe la utilización de MTBE por los daños que provoca este en la salud de los seres humanos, ya que existe la probabilidad de que la exposición a MTBE provoque cáncer.

En la tabla 6, se describen algunas características que poseen los aditivos oxigenados al mezclarlos con gasolina.

Tabla 6
Ventajas y desventajas de los aditivos para la gasolina

ADITIVO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tetraetilo de plomo (TEL)	El número de octanaje (ON) de la gasolina puede mejorar agregando	La quema de TEL genera óxido de plomo, que envenena convertidores

CONTINÚA →

	TEL, ya que actúa como inhibidor antidetonante.	catalíticos. El uso de compuestos que contienen plomo causa contaminación ambiental.
Hidrocarburo con longitud de cadena corta	Cuanto más corta sea la cadena de alcano, mayor será el ON.	La volatilidad del hidrocarburo aumenta con una disminución en la longitud de la cadena.
Hidrocarburos aromáticos	Los aromáticos aumentan tanto el RON como el MON, los alquilbencenos pueden afectar el MON a un mayor que RON.	Los hidrocarburos aromáticos queman hollín y son cancerígenos.
Alcoholes aromáticos	Son eficaces para aumentar las dosis de ON superiores al 10%.	Son altamente cancerígenos y son fácilmente absorbidos por la piel.
Etanol	Tiene un RON alto (109). Permite una mayor relación de compresión, menor tiempo de duración de combustión, motor de combustión más delgado y reduce las emisiones nocivas.	Las desventajas del etanol incluyen su menor densidad de energía que la gasolina, su corrosividad, baja luminosidad de llama y menor presión de vapor.
Metanol	Tiene un RON alto (129-134). Puede usarse directamente como combustible limpio o como un aditivo a la gasolina.	Las desventajas del metanol son similares al etanol. Sería más difícil que encienda un auto en clima frío.
Metil terbutil éter (MTBE)	El MTBE se usa como oxigenado para elevar el ON a la gasolina. El oxígeno optimiza la oxidación durante la combustión.	El MTBE puede ser carcinógeno para animales y humanos en aguas potables.

Ferroceno	El ferroceno se usa como refuerzo de octanaje para elevar el ON a la subida de la gasolina.	Los depósitos que contienen hierro formados a partir de ferroceno pueden formar una capa conductora en las superficies de las bujías.
-----------	---	---

Fuente: (Demirbas, Balubaid, Basahel, & Ahmad, 2015).

El presente proyecto de tesis se enmarca en adicionar diferentes tipos de alcoholes lineales (etanol, butanol, propanol) y alcoholes ramificados (isobutanol, isopropanol) con concentraciones variadas a la gasolina base producida en la refinería Lago Agrio, con el fin de evaluar los cambios en sus propiedades. Para efectos de comparar las mezclas, se llamará mezcla eficiente a la muestra que posea mejores propiedades en términos de número de octanaje, presión de vapor y poder calorífico.

2.4.1. Concentración de gasolinas aditivadas

En los últimos años, a nivel mundial se utilizan mezclas de gasolina con alcohol (principalmente etanol) también llamadas gasohol para el uso en motores de combustión interna, el termino gasohol se utiliza para referenciar mezclas con bajos contenidos de alcohol (inferiores del 25%). La proporción de ambos compuestos se los identifica con la letra mayúscula E seguida del porcentaje de etanol añadido a la mezcla.

Actualmente, en el Ecuador se implementó la comercialización de gasolina ecopaís en la región litoral, la misma que es una mezcla de 95 % de gasolina y 5 % de etanol (E5). El uso de esta gasolina reduce las emisiones de CO₂ al medio ambiente, promueve la producción de etanol en el país y cumple con la norma NTE INEN 935 que controla la comercialización de gasolina.

En el año 2010, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos otorgó el permiso para una nueva mezcla de combustible añadiendo hasta un 15 % de etanol (E15) mezclado con gasolina para vehículos livianos.

Por otra parte, basados en estudios previos donde se realizan gasolinas aditivadas se pudo determinar el porcentaje de alcohol conveniente para las mezclas a elaborarse; por esta razón, en el presente proyecto se elaboran mezclas 7 % y 15 % de alcohol añadido a la gasolina base.

2.4.2. Propiedades de los alcoholes

Existe gran cantidad de alcoholes que se utiliza como aditivos oxigenados, los cuales varían sus propiedades fisicoquímicas. Los alcoholes que se mencionará a continuación son: etanol, butanol, propanol, isopropanol e isobutanol.

2.4.2.1. Etanol

El etanol o también conocido como alcohol etílico, etanol absoluto, alcohol etílico anhidro o hidrato de etilo es un líquido incoloro de olor dulce (Javeriana). Es un componente esencial de las bebidas alcohólicas, su fórmula química es $CH_3 - CH_2OH$. Para la obtención de este alcohol se utiliza el método de fermentación o descomposición de los azúcares de distintas frutas. Se utiliza industrialmente para la obtención de acetaldehído, vinagre, butadieno, cloruro de etilo y nitrocelulosa. En la tabla 7 se detalla las principales propiedades químicas y físicas del etanol.

Tabla 7*Propiedades físicas y químicas del etanol*

Estado físico a 20 ° C	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Dulce
Punto de fusión (° C)	-117 °C
Punto de ebullición (° C)	79 ° C
Presión de vapor, 20 ° C	59 mmHg
Densidad relativa del agua	0,7893
Solubilidad en agua (% en peso)	60 %
Límites de explosión – Inferior (%)	3,3
Límites de explosión – Superior (%)	19

2.4.2.2. Propanol

El propanol o también conocido como n-propanol, n –propil alcohol o alcohol propílico, es un líquido incoloro de olor característico. Es un alcohol miscible con alcoholes, éter etílico y agua, se utiliza como solventes para resinas naturales y sintéticas, insecticidas, ceras, éteres y esteres de celulosa.

Tabla 8*Propiedades físicas y químicas del propanol*

Propiedad	Unidad	Especificación
Pureza	% p/p	99,5 mínimo

Humedad	0,2 máximo
Acidez total	0,01 máximo
Densidad relativa	g/ml @ 20 ° C
	0,803-0,807
Color (APHA)	10 máximo
Olor	Característico
Apariencia	Líquido transparente

Fuente: (CQ Conquímica, 2014)

2.4.2.3. Butanol

El butanol o también llamado 1-butanol, alcohol butílico o n-butanol, es un líquido de aspecto incoloro y olor fuerte, característico del alcohol. Su fórmula química es $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$.

El butanol es estable en su punto de ebullición a presión atmosférica y no necesita inhibidores. Es relativamente no tóxico y tiene un olor suficientemente fuerte como para detectar su presencia en concentraciones muy inferiores (Dorwil Química Analítica).

2.4.2.4. Isopropanol

El isopropanol conocido también como alcohol isopropílico, propan-2-ol o 2-propanol, es un alcohol incoloro, inflamable, con olor fuerte y miscible con el agua. Se usa como producto de limpieza, disolvente, aditivo de la gasolina para disolver el agua o el hielo. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$.

2.4.2.5. Isobutanol

El isobutanol o también conocido como metilpropan-1-ol o 2-metil-1-propanol, es un líquido incoloro y su fórmula química es $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$. En la tabla 9 se muestra las propiedades fisicoquímicas del isobutanol.

Tabla 9

Propiedades físicas y químicas del isopropanol

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Suave
Punto de fusión	90 ° C
Punto de ebullición	180 ° C
Presión de vapor, 20 ° C	< 16 kPa
Densidad de vapor	2,55
Solubilidad en agua	60 %

Fuente: (GTM, 2016)

2.4.3. Propiedades de las mezclas alcoholes – gasolina

Uno de los procesos para aumentar el número de octanaje en la gasolina es la adición de compuestos oxigenados como son los éteres, esterres y alcoholes. Mediante esta técnica el Ecuador produce gasolina ECO, la cual consiste en mezclar a la gasolina con un porcentaje (máximo del 10 %) de etanol.

Entre los beneficios que se obtiene la adición de alcoholes, son:

- Adicionar un 10 % de volumen de etanol a la gasolina genera mejora en la calidad del combustible, reduce la cantidad de azufre, aromáticos y oleofinas, debido al efecto de dilución que presenta el etanol. (Torres , Molina , Pinto , & Rueda , 2002).
- Al incrementar una concentración de 10 % volumen de etanol a la gasolina, existe un aumento del número de octanaje de 2,5 a 3 unidades. Además, se tiene una mejor combustión, reduce los depósitos en el sistema de inducción y en la cámara de combustión (Hernández, 2008).
- La presión de vapor de un combustible tiene cambios al añadir alcohol, aproximadamente aumenta en 10 unidades.
- Al utilizar gasolina mezclada con 15 % de alcohol en motores de combustión, tiene una reducción en las emisiones de CO₂ de hasta un 11,77 % (Hernández, 2008). Por esta razón, los combustibles eco son utilizadas principalmente en ciudades que tiene gran cantidad de contaminación ambiental.
- La utilización de gasolina mezclada hasta con un 10 % de etanol produce un funcionamiento normal de los motores sin tener que modificar sus componentes (Carpio Pezantes & Cedillo Sánchez, 2015).

2.5. Petroamazonas EP

Petroamazonas es una empresa estatal creada en el año 2007, dedicada a la exploración y explotación de hidrocarburos. La empresa posee a cargo las operaciones de los campos Lago Agrio, Libertador, Shushufindi, Aucas y Cuyabeno. Actualmente, Petroamazonas opera 21 bloques, de los cuales 18 se encuentran ubicados en la Cuenca Oriente del Ecuador y 3 en la zona del Litoral.

En el bloque 56 localizado en Lago Agrio la empresa cuenta con una refinería que ya opera más de 40 años. La Refinería posee una torre de destilación atmosférica la cual procesa 1000 BPD 24 °API. La torre de destilación se encuentra comprendida de 23 platos, contando desde abajo hacia arriba, produciendo gasolina base, jet fuel y diésel.

Los productos obtenidos de la destilación atmosférica son utilizados para el consumo interno de la empresa; es así, que parte de la gasolina base la utilizan como combustible para el horno de calentamiento de crudo, el jet fuel es usado como solvente para los laboratorios de la empresa y para las inyecciones en los pozos de petróleo y el diésel es usado en el parque automotor de la empresa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se describirá la metodología usada para la elaboración del proyecto de tesis. Para la ejecución de las pruebas de laboratorio se han utilizado instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Matriz Quito y Sede Latacunga, Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) y empresa Petroamazonas EP.

3.1. Marco experimental

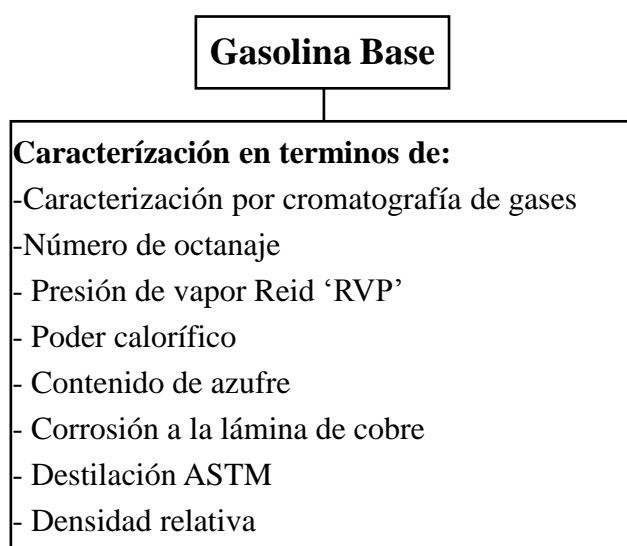
El proyecto inició con la recolección de muestras de gasolina base, los cuales fueron previamente rotuladas. Continuando luego con la caracterización inicial de la gasolina base, se realizaron pruebas para determinar el número de octanaje, presión de vapor Reid ‘RVP’, poder calorífico, contenido de azufre, corrosión a la lámina de cobre, destilación atmosférica, densidad relativa y composición de aromáticos y olefinas.

Posterior a esto se elaboró 10 mezclas simples de gasolina base – alcoholes (lineales y ramificados), usando etanol, butanol, propanol, isobutanol e isopropanol en concentraciones del 7 % y 15 %. A cada una de estas mezclas se caracterizó en términos de número de octanaje, poder calorífico y presión de vapor Reid.

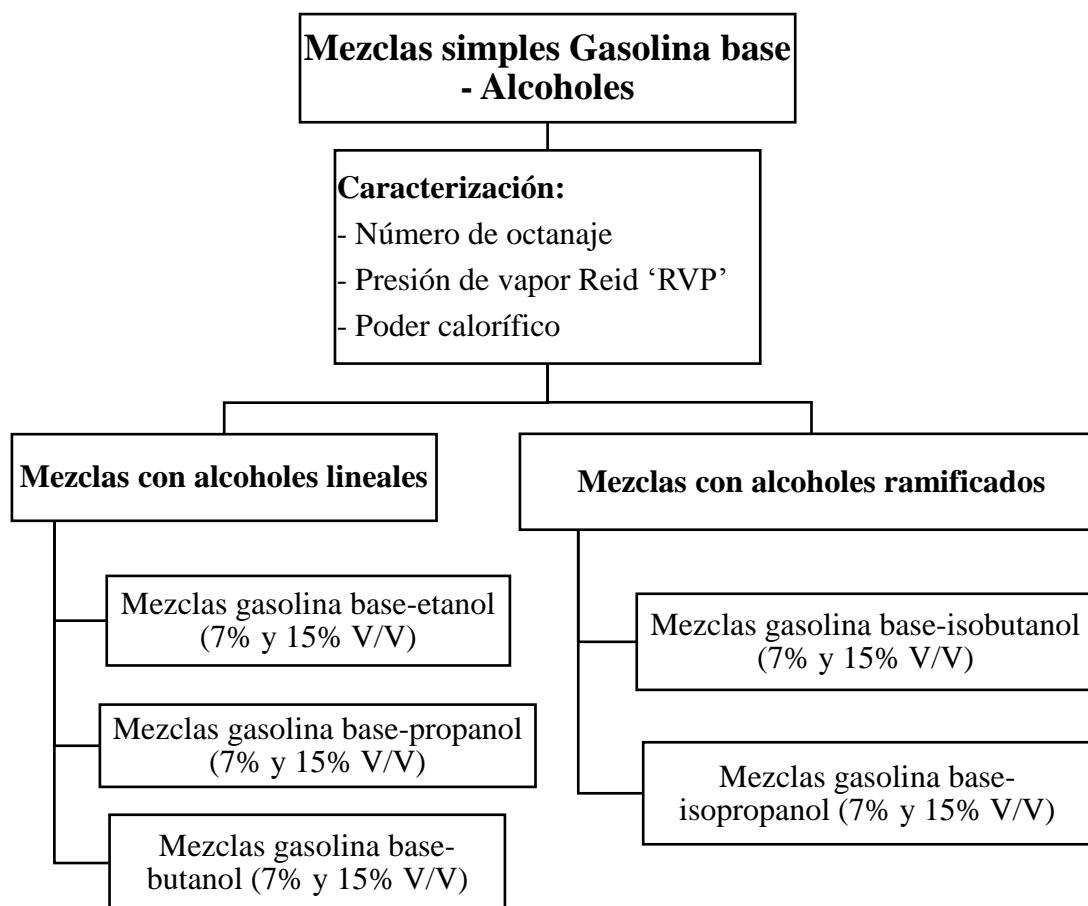
Se comparó los cambios que existió en las propiedades de las mezclas simples (gasolina base – alcohol), eligiendo así el mejor tipo de alcohol lineal y alcohol ramificado y se elaboró mezclas compuestas con estas (gasolina base – alcohol lineal – alcohol ramificado). A estas mezclas se las caracterizó calculando su número de octanaje, presión de vapor, poder calorífico, destilación

ASTM y corrosión a la lámina de cobre, evaluando así sus propiedades y eligiendo una mezcla eficiente (mezcla eficiente se llamará a la muestra que posea óptimas propiedades de número de octanaje, presión de vapor y poder calorífico).

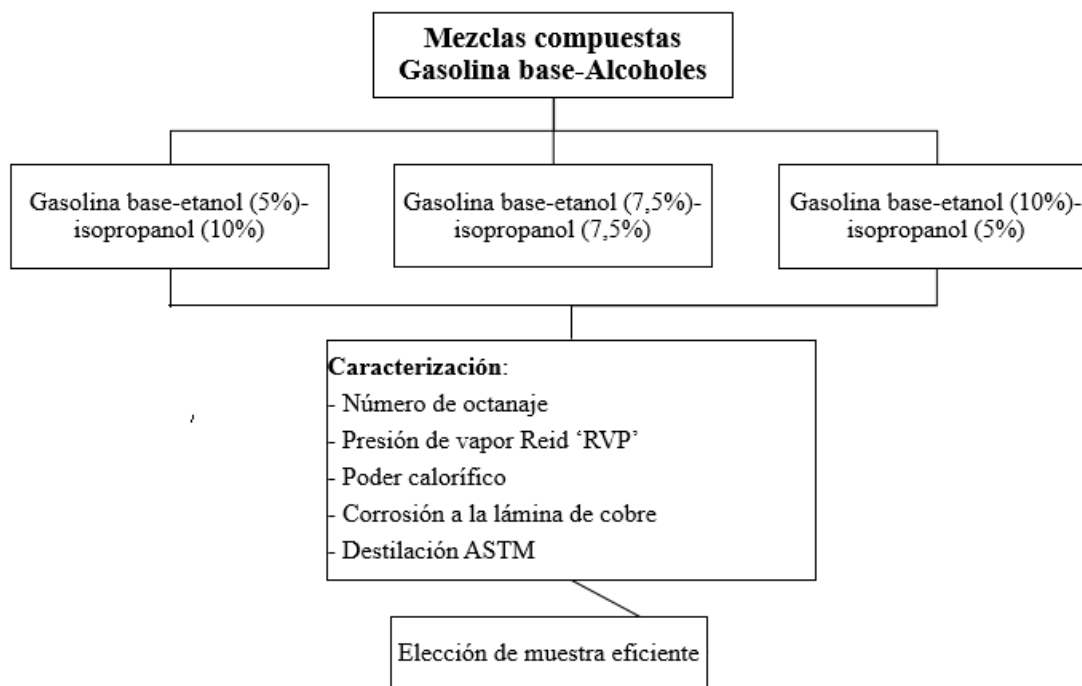
A continuación, se detalla el diagrama donde se enlistan las propiedades con la cual fue caracterizada la gasolina base.



Tras haber caracterizado la gasolina base de la Refinería Lago Agrio se realizo mezclas gasolina base – alcoholes, las cuales se denominaron mezclas simples, dividiendolas en grupos de mezclas con alcoholes lineales y alcoholes ramificados en concentraciones fijas de 7 % y 15 %.



Analizando la caracterización de las mezclas simples se tomo la mezcla con alcoholes lineales que posea las mejores propiedades y la mejor mezcla con alcoholes ramificados, con las cuales se realizados nuevas mezclas denominadas mezclas compuestas.



3.2. Sustancias y reactivos

- Gasolina base.
- Etanol.
- Propanol.
- Butanol.
- Isopropanol.
- Isobutanol.
- Agua.

3.3. Materiales

- Vasos de precipitación.
- Agitadores de vidrio.

- Papel filtro.
- Probetas de vidrio color transparente.
- Botellas ámbar.
- Contra tapa de plástico.
- Embudo.
- Equipo de protección personal.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Celdas de película de plástico transparente de rayos X.
- Polifilm.
- Hielo.
- Láminas de cobre.
- Agua destilada.
- Hidrómetro de vidrio graduado.
- Balanza analítica.
- Helio.

3.4. Equipos

A continuación se enumeran los equipos utilizados con sus respectivas características.

Octanómetro motor Research

- **Marca:**Waukesha Engine Div. Dresser
- **Modelo:**CFR F1 (Research Method)

- **Serie:** G-39197
- **Rango de trabajo:** 40 – 120 RON

Equipo de medición de presión de vapor Reid.

- **Marca:**AWD
- **Modelo:**AWD-20
- **Uso:** productos de petróleo
- **Rango del baño maria:** 38 °C ± 3 °C
- **Exactitud del control de temperatura:** ±1°

Bomba calorimétrica adiabática

- **Marca:** Gallpank
- **Norma:** ASTM D240
- **Consola:**
 - Termómetro con lector y vibrador.
 - Dimensiones 51.5*40*109 cm
 - Voltaje 110/150V, 60 Hz.
 - Ignición de prueba.
 - Agitador electrónico.
- **Bomba:**
 - Porta muestra líquida.
 - Válvula de alta presión.
 - Válvula de desfogue.

- Electrodo de 25mm de diámetro.

Espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X

- **Marca:** Horiba
- **Modelo:** SLFA-2100& SLF- 2800
- **Rango:** 0 – 9.999% S
- **Repetibilidad:** 5 ppm (desviación estándar con muestras que contienen 1 % S)
- **Límite de detección:** 5 ppm
- **Requisito de muestra:** 4 a 10 ml
- **Tiempo de medición:** entre 10 y 600 segundos
- **Temperatura de funcionamiento:** 5 C a 35 C
- **Humedad relativa:** 30% a 85%, sin condensación, atmósfera

Baño para hacer lámina de cobre

- **Marca:** Koehler Instrument Company
- **Norma:** Método ASTM D130
- **Capacidad:** Máximo 16 tubos de ensayo
- **Temperatura Máxima del Baño:** 190 °C (374 °F)
- **Estabilidad del control de temperatura:** $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2^{\circ}\text{F}$)
- **Rango de Calentamiento:** 0 hasta 750 W
- **Dimensiones largo x ancho x alto (cm):** 39 x 32 x 36
- **Medio del baño:** 18.9L de agua

- **Control de temperatura:** digital

Equipo de destilación ASTM

- **Marca:** Walter Herzog
- **Norma:** ASTM D-86
- **Rango de temperatura:** 0 a 450°C
- **Precisión:** 0.1°C
- **Sensor de presión atmosférica:** 70 a 110kPa
- **Dimensiones:** 440*570*650 mm

Hidrómetro graduado

- **Marca:** Koehler
- **Rango:** 51° - 71° API

Cromatógrafo de gases

- **Marca:** PerkinElmer
- **Modelo:** Clarus 680
- **Detector:** GC/MS

Espectrómetro de masa

- **Marca:** PerkinElmer
- **Modelo:** Clarus SQ8T

Columna capilar de cromatógrafo

- **Marca:** Zebron ZB-MS
- **Dimensiones:** 30m * 0,25 mm

3.5. Disponibilidad de equipos

A continuación se detalla la disponibilidad de los equipos usados para la elaboración de las respectivas pruebas.

Equipos	Disponibilidad
Octanómetro motor Research	ARCH
Equipo de medición de presión de vapor Reid.	Petroamazonas EP
Bomba calorimétrica adiabática	ESPE Matriz
Espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X	Petroamazonas EP
Baño para hacer lámina de cobre	Petroamazonas EP
Equipo de destilación ASTM	Petroamazonas EP
Hidrómetro	Petroamazonas EP
Cromatografía de gases	ESPE Latacunga

3.6. Metodología experimental

A continuación se describirá la metodología experimental usada para la elaboración del proyecto de grado.

3.6.1. Recolección de muestras

Las muestras de gasolina base fueron tomadas de la empresa Petroamazonas EP en el bloque 56 en la refinería de Lago Agrio. Para la recolección de las muestras se aplicó la norma INEN 930, la

cual establece varios procedimientos para el muestreo de petróleo crudo y productos de petróleo, con el fin de obtener ensayos de calidad esta norma excluye a las muestras que sean gases a presión y temperatura ambiente.

Para la selección del tipo de muestreo, en este caso corresponde a una muestra continua ya que es obtenida de una tubería, 'la muestra representa un promedio del flujo en movimiento' (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 1984), este tipo de muestra se aplica solamente para muestras líquidas que tengan una presión de vapor Reid menor o igual a 110 kPa (16 psi).

El procedimiento y las especificaciones que se aplicó de la norma INEN 930 para la toma de muestra, fueron:

- Las muestras deben ser tomadas en botellas ámbar, usando tapas y contratapas para su cierre. En este caso se usó envases ámbar de 4 litros con tapas y contratapas de plástico.
- Purgar por la llave de salida del producto, de manera que se homogenice el tubo y se pueda tomar una muestra significativa. Se observa en el anexo D.
- Tras tomar la muestra, cerrar con la tapa y contratapa. Además, es muy importante etiquetar la botella especificando el nombre del producto y la fecha de recolección.
- Debido a que la gasolina base posee una gran cantidad de hidrocarburos volátiles a temperatura ambiente, se procede a guardar la muestra en una caja térmica con hielos o en un congelador (ANEXO E).
- Para el transporte y para la ejecución de pruebas, mantener las muestras en un rango de temperatura de 0 ° C a 10 ° C.

3.6.2. Caracterización de gasolina base

La muestra de gasolina base se caracteriza en propiedades de caracterización por cromatografía de gases, número de octanaje, presión de vapor, poder calorífico, contenido de azufre, corrosión a la lámina de cobre, destilación ASTM, densidad, densidad relativa y gravedad API.

3.6.2.1. Caracterización por cromatografía de gases

Para determinar el contenido de aromáticos y bencenos presentes en la gasolina base de la Refinería Lago Agrio se caracterizó la mezcla mediante la cromatografía de gases (GC) el cual se encuentra acoplado a un espectrómetro de masas (MS).

Se aplicó el método cuantitativo y cualitativo para determinar los componentes presentes en la gasolina base, el cual se base en el calculó de las área de los picos que se forman en el cromatograma.

El procedimiento seguido para la elaboración del ensayo fue el siguiente:

- Para preparar el vial con la muestra de gasolina base se mantuvo la muestra refrigerada a 4 ° C, se transvaso al vial y se tapó inmediatamente, de tal manera de evitar pérdidas por volátiles.
- El vial fue colocado en el automuestreador del equipo.
- Se ingresó las siguientes condiciones de operación en el cromatógrafo de gases y en el espectrómetro de masas:

Temperatura del horno: 30 ° C mantenidos durante 10 minutos, subiendo a una primera rampa 2 °C/min hasta 70 ° C y a una segunda rampa 50 ° C/min hasta 230 ° C.

Temperatura de inyector: 250 ° C.

Relación de división: 1:50

Escaneo de espectrómetro de masas: 35 – 550 m/z.

Tiempo de escaneo: 33,20 minutos.

Volumen de vial de muestra: 0,5 uL sin dilución.

- Tras esperar 33,20 minutos que fue el tiempo de escaneo, se genera el cromatograma el cual fue enviado a integrar los 125 picos más representativos, obteniéndose en un archivo Excel los tiempos de retención de cada pico, área de pico y porcentaje de área.
- Mediante la librería NIST se determinó los compuestos pertenecientes a cada pico del cromatograma.

3.6.2.2. Número de octanaje

El análisis del número de octanaje se realizó en la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero ARCH en el laboratorio Centro Nacional de Control de Calidad de Hidrocarburos. Basado en la norma ASTM D269 se usó un octanómetro motor Research para el respectivo cálculo.

3.6.2.3. Presión de vapor

Para determinar la presión de vapor de la gasolina base se usó la norma NTE INEN 0928, la cual describe el procedimiento para la determinación de presión de vapor Reid de crudos volátiles y productos derivados volátiles no viscosos. Para la elaboración de la prueba, la norma NTE 0928 establece que la diferencia de repetibilidad entre pruebas debe ser menor o igual a 1,4 kPa, por asegurar esto, se realizó dos ensayos a cada prueba. Dicho procedimiento es el siguiente:

- El equipo de presión de vapor consta de una bomba de presión de vapor Reid conformada por una cámara de aire a la cual se encuentra acoplado por el extremo superior un manómetro Bourdon y por el extremo inferior una cámara de muestra con una abertura (ANEXO F), el equipo debe permanecer sumergido en un baño maría a una temperatura constante de 38.7 ± 0.1 ° C que equivale a 100 ° F.
- La muestra a ensayarse debe ser mínimo de un litro y máximo ocho litros.
- El envase de la mezcla debe enfriarse en un rango de 0 y 4.4 °C antes de ser abierto.
- Asegurarse que la muestra se encuentre en el rango establecido de temperatura y traspasar a la cámara de muestra llenando un 70 % u 80 % de la capacidad del envase.
- Colocar la cámara de muestra a enfriar por unos minutos, ensamblar la cámara de muestra a la cámara de aire de tal manera que no se pierda muestra y que quede perfectamente enroscado.
- Invertir el equipo ensamblando para permitir que la muestra llegue a la cámara de aire y agitar enérgicamente. Introducir con un ángulo de 45 ° al baño maría, verificar que no exista fugas con la aparición de burbujas.
- Si existiese fugas repetir los pasos anteriores realizando un buen lavado y secado de equipos para que no exista alteraciones en los resultados.
- Posterior a esto, introducir la bomba verticalmente al baño maría dejando como mínimo una pulgada por encima del tope de la cámara de aire. Dejar reposar por 5 minutos, dar un ligero golpe en el manómetro y observar la primera lectura.
- Sacar el equipo del baño, invertirlo, agitar fuertemente e introducir al baño; realizar este proceso en el menor tiempo posible para evitar pérdidas de calor.

- Repetir la agitación y observación de la presión en intervalos de dos minutos, como mínimo cinco veces hasta que se consiga dos lecturas consecutivas que sean constantes.
- Registrar el valor de la lectura como la presión de vapor Reid.
- Finalizado el ensayo purgar las cámaras de aire y de muestra llenándola con agua a una temperatura mínima de 32 ° C y dejarla que drene. Repetir esta purga por lo menos 5 veces.
- Remover toda la muestra de la cámara de aire, limpiarla y dejarla en un baño con hielo para el próximo ensayo.

3.6.2.4. Poder calorífico

Se determinó el valor calorífico superior de la gasolina base mediante el uso de una bomba calorimétrica adiabática de Gallepack, el cual se encuentra compuesta por una consola y por la bomba. La consola posee circuitos eléctricos internos la cual envía la chispa para que inicie la combustión en la bomba.

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Sujetar un alambre conductor (hilo de cobre) entre los extremos de los electrodos que se encuentra en la tapa de la bomba y atar en este una mecha de hilo de lana. Como se puede observar en el anexo G.
- Pesar ocho gramos de muestra en la balanza analítica y colar en el recipiente de la bomba introduciendo la mecha de lana. Armar la bomba colocando una gota de agua en el interior de la bomba para conseguir una combustión completa.
- Presurizar con oxígeno la bomba calorimétrica con una presión de 15 bares.
- Verificar que la temperatura de la camisa aislante de la consola se mantenga a 21° C.

- Para comprobar que exista contacto en el interior de la bomba, conectarla conexión del calorímetro a la bomba para simular la corriente que pasa por los electrodos.
- Introducir la bomba calorimétrica en el baño de agua, mantener la temperatura del baño maría a 29 ° C y asegurar la tapa de manera que exista un buen contacto para la ignición.
- Iniciar la combustión y registrar la temperatura inicial y final señaladas por el termómetro especial.
- Al observar el aumento de temperatura desactivar el paso de corriente y usando el vibrador del lector observar la temperatura máxima.

Para el cálculo del poder calorífico de las muestras, se toma como referencia el valor de poder calorífico del ácido benzoico (emitido por el certificado del ácido benzoico) el cual es 26454 J/gr, y de esta manera calcular la capacidad calorífica total del equipo. Se aplicó la ecuación 3.1 para el cálculo de energía liberada del ácido benzoico, la ecuación 3.2 para determinar la variación de temperatura y la ecuación 3.3 para determinar la capacidad calorífica del equipo.

$$E = Q_{\text{Ácido benzoico}} * m \quad (3.1)$$

Donde:

E= Energía liberada J.

Q= Poder calorífico J/gr.

M= masa gr.

$$\Delta T = T_f - T_o \quad (3.2)$$

Donde:

ΔT = variación de temperatura.

T_f = temperatura final.

T_o =temperatura inicial.

$$C = \frac{E}{\Delta T} \quad (3.3)$$

Donde:

C = Capacidad calorífica J/°C

ΔT = variación de temperatura °C

E = energía liberada J

3.6.2.5. Contenido de azufre

El ensayo de determinación de azufre fue elaborado por fluorescencia de rayos X basándose en la norma ASTM D4294 – 16. En donde se establece el siguiente procedimiento:

- La temperatura ambiental del laboratorio debe permanecer entre 17 y 25°C.
- Para analizar que el equipo se encuentre libre de azufre se inicia corriendo el blanco (aceite mineral), el cual debe tener un valor medido de \leq a 0.01 % de azufre.
- Elaborar la curva de calibración en el equipo (ANEXO H).
- Si la muestra a ser analizada contiene agua suspendida es recomendable removerla antes de realizar el ensayo para evitar interferencias con el agua. Tras verificar esto, agitar la mezcla con una varilla de vidrio para homogenizar la mezcla.
- Llenar la copa de plástico con la muestra hasta un 75 % aproximadamente, cerrar la celda con la venta de polifilm. Verificar que no se toque con las manos la ventana, que no se arrugue y que no exista aire entre la ventana y la muestra.

- Colocar en el equipo y registrar el contenido de azufre, ya que el equipo calcula automáticamente a través de la curva de calibración.

3.6.2.6. Corrosión a la lámina de cobre

Para la determinación del porcentaje de corrosión que posee la gasolina base se usó la norma ASTM D130-12, método de prueba estándar para la detección de la corrosión del cobre a partir de productos derivados del petróleo mediante la prueba de deslizamiento de la tira de cobre. Los materiales usados para dicha prueba fue: láminas de cobre, cápsula de acero inoxidable, ligas delgadas y baño maría a temperatura constante de 100 ° F.

- El proceso inicia con la preparación de la superficie de la lámina de cobre, en el cual se debe eliminar todo tipo de imperfecciones o relieves de los lados de la lámina de cobre. Tener mucha precaución de no contaminar la lámina y evitar el contacto de los dedos directamente en la lámina con el uso de guantes desechables o sujetando la lámina con papel filtro. Para pulir la lámina de cobre, primero hacerlo de los extremos y luego de las caras, con movimientos verticales en dirección del eje largo de la tira (nunca movimientos circulares) y limpiar el polvo metálico frotando vigorosamente con almohadillas de algodón.
- Colocar 30 ml de muestra en el tubo de ensayo, tras el transcurso de un minuto de finalizar el pulido de la lámina, sumergirlo inmediatamente a la muestra. Colocar el tubo de muestra en el recipiente de presión y atornillar la tapa con fuerza.
- Las condiciones de temperatura y tiempo del proceso para la gasolina base debe ser estrictamente a 40 ° C durante 3 horas \pm 5 minutos.
- Al finalizar la prueba retirar el recipiente a presión y sumergirlo en agua fría por unos minutos, abrir el recipiente, retirar el tubo de ensayo y examinar la lámina.

Para la examinación e interpretación de los resultados de la lámina de cobre se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Vaciar el contenido del tubo de ensayo en un vaso de precipitación alto de 150 ml, deslizarlo suavemente.
- Retirar la tira con pinzas y sumergirlo en disolvente de lavado el cual puede ser agua destilada.
- Retirar la lámina de cobre, secarla (con papel filtro o secado al aire) y verificar que exista evidencia de empañamiento o corrosión comparando con los estándares de corrosión de la banda de cobre (figura 6).
- Al determinar la serie de corrosividad de los estándares de la banda de cobre se interpreta los resultados de acuerdo a la clasificación de la tira de cobre ASTM (tabla 11), en donde se debe considerar lo siguiente: cuando la tira se encuentra con dos estándares de transición contiguas se considera la clasificación del estándar con mayor proporción.
- Se debe repetir todo el proceso en el caso de encontrar huellas digitales, manchas de partículas o gotas de agua en el análisis de la lámina.

Para reportar el informe final con los resultados de las pruebas, se debe indicar la duración y temperatura de la prueba en el siguiente formato:

$$\textit{Tira de lámina de cobre} \left(\frac{Xh}{Y}^{\circ C} \right), \textit{Clasificación } Zp \quad (3.4)$$

Donde:

X= duración de la prueba, en horas

Y= temperatura de la prueba, °C

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

p= descripción de la clasificación para el Z correspondiente (a, b, c o d)

3.6.2.7. Destilación ASTM 86

Se realizó la destilación ASTM 86 utilizando un analizador de destilación Optidist automático (anexo J). El procedimiento realizado fue:

- Mantener la muestra a destilar a una temperatura máxima de 10 °C, para la conservación de las mismas y para evitar pérdidas de volátiles.
- Configurar en el panel digital las condiciones de operación y especificar que la muestra es gasolina base.
- Verificar que la probeta y el balón de destilación se encuentren limpios y secos.
- Trasferir 100 ml de muestra al balón de destilación.
- Colocar los corchos y el termómetro, asegurándose que el bulbo del termómetro se encuentre a la altura de la salida de los vapores del balón.
- Ensamblar correctamente el equipo e iniciar el proceso de destilación.
- Verificar en el diagrama de la pantalla digital los porcentajes de destilado junto a sus temperaturas y la velocidad del mismo.
- Registrar la temperatura de la primera gota, del 5 % de destilado, de cada 10 % de destilado hasta llegar al 90 % y finalmente la temperatura del 95 % y del punto final.
- Corregir las temperaturas observadas a 101.3 kPa (1 atm), con el uso de las siguientes ecuaciones:

$$C_c = 0,0009(101,3 - P_k)(273 + t_c) \quad (3.5)$$

$$C_c = 0,00012(760 - P)(273 + t_c) \quad (3.6)$$

En donde:

C_c = Corrección algebraica que se le añade a la temperatura observada

P_k = Presión barométrica tomado en el momento de la prueba, kPa

P = Presión barométrica tomado en el momento de la prueba, mmHg

t_c = Lectura observada en ° C

3.6.2.8. Gravedad API, densidad y densidad relativa

Para la determinación de la gravedad API se aplicó la norma ASTM D1298 – 12d y para el cálculo de la densidad y densidad relativa se usó el software API VCF Calculation Applet instalado en la empresa Petroamazonas en el departamento de tratamiento químico.

Para iniciar con la prueba se verifica las condiciones ambientales del laboratorio, las cuales corresponde a una temperatura de 17 a 25 ° C y una humedad relativa menor o igual a 85 %.

El procedimiento para el cálculo de la gravedad API es el siguiente:

- Dejar por unos minutos la muestra en el laboratorio, permitiendo que su temperatura se iguale a la temperatura del laboratorio.
- Con el uso del agitador de vidrio homogenizar la muestra en su envase original durante un minuto, con movimientos lentos de tal forma que se evite la aparición de burbujas.
- Transvasar la muestra a la probeta un volumen de manera que el hidrómetro flote libre uno 25 mm desde el fondo de la probeta hasta la base del hidrómetro. Con el fin de evitar la formación de burbujas y de tener pérdidas de volátiles, se transvasa la muestra con la probeta inclinada.

- Si existiera formación de burbujas en la probeta, se remueve las mismas con el uso de papel filtro antes de insertar el termómetro.
- Muy importante colocar la probeta en un lugar donde no exista corriente de aire y que la temperatura ambiente no varié en más de 2°C durante el tiempo de ensayo.
- Introducir el termómetro el en centro de la probeta con una profundidad de 10 cm. Evitando que el termómetro tope las paredes de la probeta esperar que se estabilice la lectura de temperatura por un minuto y registra la temperatura.
- Introducir el hidrómetro dentro de la muestra y liberarlo observando que flote libremente en la probeta. Para observar la lectura del hidrómetro verificar que el menisco esté sobre la línea de la escale no entre líneas y retirar el hidrómetro.
- Con la temperatura y gravedad API registrada corregir a 60 ° F, calcular el HYC que corresponde al factor de corrección de la expansión del vidrio térmico del hidrómetro, usando la ecuación 3.7:

$$HYC = 1.0 - [0.00001278(t - 60)] - [0.0000000062(t - 60)^2] \quad (3.7)$$

- Convertir la escala del hidrómetro leída a densidad en kg/m^3 , corregirla por el factor de expansión del vidrio térmico del hidrómetro y calcular la densidad relativa R.D, aplicando las fórmulas 3.8, 3.9 y 3.10.

$$Densidad (kg/m^3) = (141,5 * 999,016)/(131,5 + ^\circ API) \quad (3.8)$$

$$kg/m^3_{HYC} = kg/m^3 * HYC \quad (3.9)$$

$$R.D. = \frac{kg}{m^3_{HYC}} / 999,016 \quad (3.10)$$

- Ingresar el R.D. obtenido en el software API VCF Calculation Applet, verificando que las condiciones bases del programa estén a 60 ° F y 0 psi.

3.6.3. Preparación de las mezclas simples gasolina base-alcoholes

Las mezclas realizadas fueron embotelladas en envases ámbar de 1 litro, cerradas con tapa y contratapa y almacenadas en una caja térmica con hielos para conservar sus propiedades.

Los alcoholes usados fueron: etanol, propanol, butanol, isopropanol e isobutanol, con cada una de estos alcoholes, se realizaron dos mezclas en concentraciones del 7 % y 15 % de alcohol. Es decir; 70 ml de alcohol con 930 ml de gasolina base y 150 ml de alcohol con 850 ml de gasolina base. En total se obtuvo 10 mezclas de gasolina base – alcohol.

Las mezclas fueron etiquetadas especificando el tipo de alcohol, las concentraciones y la fecha de elaboración (ANEXO K).

3.6.4. Caracterización de mezclas gasolina base-alcoholes

Para la caracterización de las 10 mezclas gasolina base – alcoholes se realizó pruebas de número de octanaje, presión de vapor y poder calorífico. El procedimiento aplicado es el mismo detallado anteriormente en la caracterización de la gasolina base original.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados de la caracterización de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base – alcohol

Una vez realizadas las mezclas simples de gasolina base-alcohol (gasolina base-un alcohol), se procedió a llevar a cabo la caracterización de las mismas en términos de calidad como combustible en comparación con la gasolina base empleada. La calidad de dichas mezclas se determinó a través de propiedades como: el octanaje, presión de vapor y poder calorífico, y los resultados de dichas pruebas se muestran a continuación.

4.1.1. Caracterización de gasolina base por Cromatografía de Gases

Para la determinación del contenido de aromáticos y bencenos presentes en la gasolina base se siguió el procedimiento mencionado en el ítem 3.6.2.1. En la figura 4 se muestra el cromatograma de la gasolina base y en la tabla 10 los datos cualitativos (tiempos de retención e identificación de cada componente) y cuantitativos (áreas).

Gasolina base sin dilucion, 06-Jul-2018 + 15:30:37

Scan EI+

TIC

3.39e10

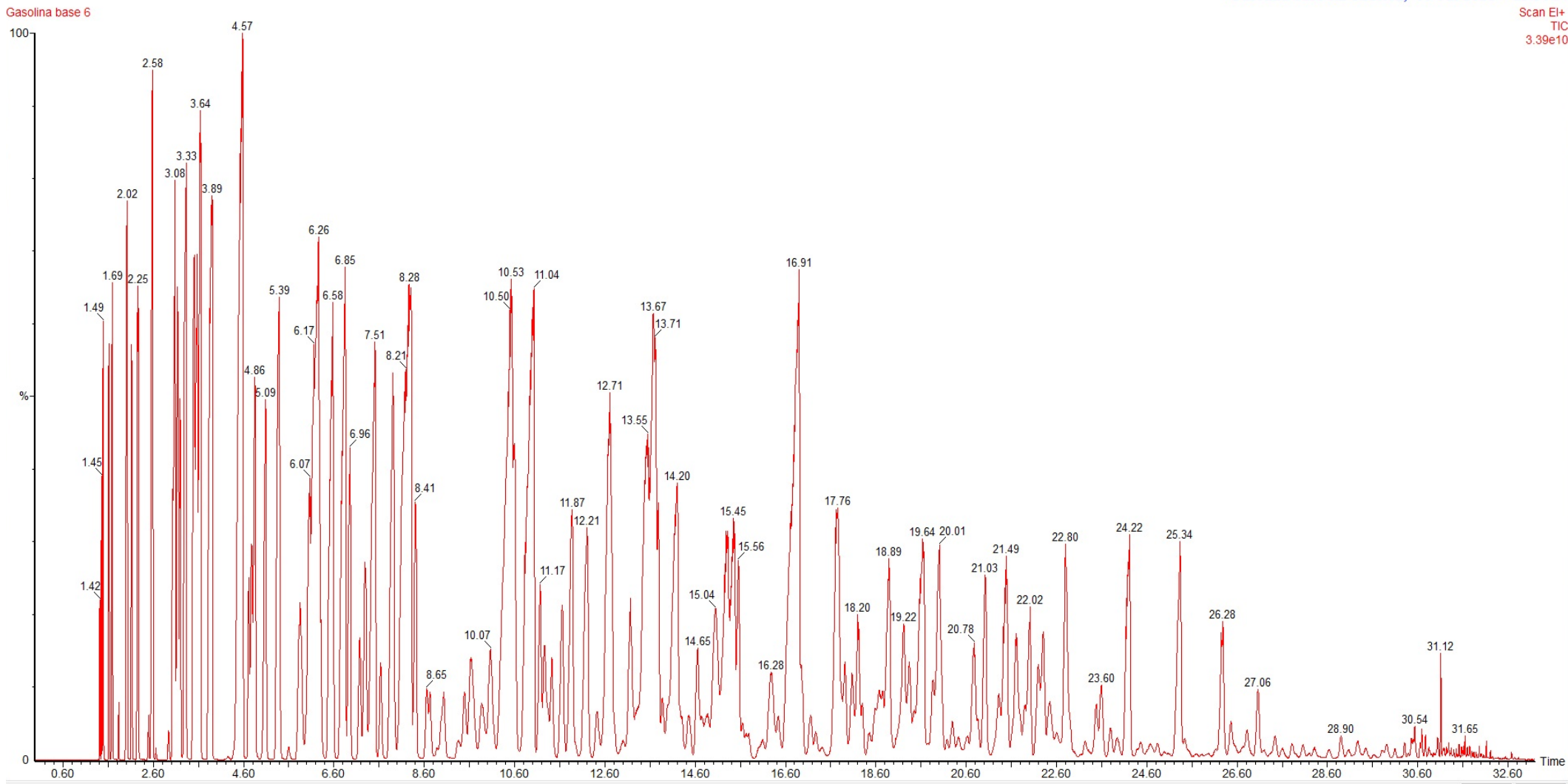


Figura 4. Cromatograma de la gasolina base

Tabla 10
Resultados obtenidos en el cromatograma para la gasolina base

Número de pico	Tiempo de retención	Área	Compuesto	% Área
1	2,494	47366064	pentano-2,2-dimetil	0,05254063
2	2,94	41686152	pentano-3,3-dietil	0,04624021
3	3,195	539409600	hexano,3-metil	0,59833805
4	3,51	1219683328	2-hexanal	1,35292911
5	3,575	1084655488	ciclopentano	1,20314999
6	3,64	1494537728	cicloheptano	1,65781031
7	4,715	325154688	hexano,2,5-dimetil	0,36067661
8	4,78	476920992	hexano,2,4-dimetil	0,5290228
9	4,855	901969600	ciclopentano,etil	1,00050636
10	5,085	959854848	trans-1-butil,2-metilciclopropano	1,06471535
11	5,385	1597854208	1-octanol,3,7-dimetil	1,77241372
12	5,846	611363136	decano,3,3,4-trimetil	0,67815224
13	6,576	1951073024	1-heptanol,3-metyl	2,16422036
14	6,851	1962936448	ciclohexano,1,2-dimetil,trans	2,17737982
15	6,956	771395968	ciclohexano,1,4-dimetil	0,85566805
16	7,176	274292544	ciclohexano,1,1-dimetil	0,30425796
17	7,286	509761088	ciclopentano,1-etil-3-metil	0,56545055
18	7,511	1717682304	ciclopentano,1-etil-2-metil-cis	1,90533259
19	7,636	239126080	ciclohexano-metil	0,2652497
20	7,911	1542574208	ciclohexano,1,2-dimetil,cis	1,71109459
21	8,277	4120918272	hexano,2,3,4-trimetil	4,57111297
22	8,407	606590144	ciclohexano,1,4-dimetil,cis	0,67285782

CONTINÚA →

23	8,652	198752128	ciclohexano,1,1,3,4-tetrametil,cis	0,22046504
24	8,727	163185232	ciclopentano,(1-metiletil)	0,1810126
25	9,357	60957936	hexano,2,2,4-trimetil	0,06761736
26	9,487	223271648	ciclopentano,1-etil-2-metil,cis	0,24766323
27	9,632	485947712	heptano,2,4-dimetil	0,53903566
28	9,877	228865696	ciclopentano,1,1,3,3-tetrametil	0,25386841
29	10,067	479846464	ciclohexano,1,2-dimetil,cis	0,53226787
30	11,038	3573837568	ciclohexano,1,1,2-trimetil	3,96426578
31	11,168	510917664	ciclohexano,1,2,4-trimetil	0,56673348
32	11,658	553982720	1-undecano,8-metil	0,61450323
33	11,873	1029281088	ciclohexano,1,2,3-trimetil	1,14172615
34	12,213	1064359936	ciclohexano,1,3,5-trimetil	1,18063722
35	12,428	146293504	ciclododecano,metil	0,16227551
36	13,874	81893464	octano,2,3-dimetil	0,09084001
37	14,199	1819458944	octano,4,5-dipropil	2,01822794
38	14,459	150635888	ciclopentano,1-metil-3-(1-metiletil)	0,16709229
39	14,654	381051968	ciclohexano	0,42268045
40	14,889	39254688	ciclohexano,1,1,3,5-tetrametil-cis	0,04354311
41	15,044	718422976	ciclopentano,1-metil-2-propil	0,79690796
42	15,319	1306693376	ciclohexano,1-metil-4-metil,trans	1,44944467
43	15,454	1134383488	p-xileno	1,25831058
44	15,56	572378176	ciclohexano,1-etil-4-metil,trans	0,63490832

45	15,65	81001056	ciclopentano,(2-metilpropil)	0,08985011
46	15,785	106662960	trans-1,3-dietil ciclopentano	0,11831548
47	16,1	82489136	1-dodecano1,3,7,11-trimetil	0,09150076
48	16,285	471217696	4-octano,2,6-dimetil	0,52269644
49	16,44	117080080	ciclohexano,1,2,3-trimetil	0,12987063
50	17,16	147304736	1-etil-3-metil ciclohexano	0,16339722
51	17,76	1492072448	1H-indene,octahydro-cis	1,65507571
52	17,915	269323840	ciclohexano,(1-metiletil)	0,29874645
53	18,201	506072480	benceno,(1-metiletil)	0,56135898
54	18,461	77764560	undecano,2,6-dimetil	0,08626004
55	18,671	401811424	6,10,13-trimetiltetradecanol	0,4457078
56	18,746	174697872	nonano-4-metil	0,19378295
57	18,891	841971200	ciclohexano-propil	0,93395336
58	19,221	437691392	ciclopentano-butyl	0,48550752
59	19,341	212641696	decil heptil eter	0,235872
60	19,641	1200795264	octano,2,6-dimetil	1,3319776
61	19,866	213951680	ciclopentano,1,2-dibutil	0,23732509
62	20,011	997115840	octano,4,5-dipropil	1,10604697
63	20,296	79783728	ciclopentano,1-metil-3(2-metilpropil)	0,0884998
64	20,632	44882224	ciclohexano,1-etil-2,3-dimetil	0,04978544
65	20,777	505474848	benceno-propil	0,56069606
66	21,027	637086016	ciclohexano,1,2,3-trimetil	0,70668525
67	21,492	881458816	benceno,1-etil-2-metil	0,97775485
68	21,707	497174464	benceno,1-etil-3-metil	0,55148889
69	22,017	577460288	nonano, 4-metil	0,64054564
70	22,197	293421312	benceno,1,2,4-trimetil	0,32547648
71	22,307	400312960	tridecano,6-metil	0,44404563
72	23,488	168893792	ciclohexano,1-etil,1-metil	0,1873448

73	23,793	92243288	ciclopentano,1-metil-3- 2(metilpropil)	0,10232052
74	24,218	961359872	benceno,1,2,3-trimetil	1,06638479
75	24,463	59892620	ciclohexano,1-metil-2-propil	0,06643566
76	25,343	929374336	decano	1,03090496
77	25,448	75671824	benceno,(1-metilpropil)	0,08393868
78	26,279	516729152	mesitileno	0,57317985
79	26,819	120519712	o-cymene	0,13368603
80	27,064	236257184	octano,3,3-dimetil	0,26206739
81	27,439	78926400	n-heptadecilciclohexano	0,08754881
82	27,819	54602292	e-11-tetradecen-1-ol trifluoroacetato	0,06056739
83	28,064	40363212	1-decanol.2-metil	0,04477274
84	28,9	73204848	benceno,1-metil-3-propil	0,0812022
85	29,91	48908628	benceno,1-metil-2-propil	0,05425171
86	31,116	85283520	tridecano	0,09460042

Como se observa en la figura 4 el cromatograma generado para la gasolina base de la refinería Lago Agrio posee varias señales (compuestos), ya que es una muestra compleja tomada directamente de la destilación atmosférica del crudo de petróleo.

Se usó el software de la cromatografía de masas para integrar 125 señales del cromatograma de la gasolina base. Usando la librería Nist del programa determinó el compuesto y el número 'REV' de cada pico, el cual significa la búsqueda o la comparación en la base de datos con las fracciones que se tiene las señales, mientras más cercano es este número a 1000 representa mayor confianza o certeza en el reporte de los datos.

Es así que, considerando el criterio del número REV para reportar los compuestos que poseen mayor a 900 REV, se obtuvo 86 picos representativos del cromatograma. En la tabla 10 se detalla los tiempos de retención y los compuestos que pertenecen a cada pico lo cual representa el análisis cualitativo; mientras que, para el análisis cuantitativo se sumaron todas las áreas generadas en el cromatograma y se calculó el porcentaje (%) de área para cada pico representativo.

4.1.2. Número de octanaje

El número de octanaje de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base – alcohol se determinó siguiendo la metodología experimental descrita en la sección 3. En la tabla 11 y en la figura 9 se encuentran los valores numéricos y las representaciones gráficas de dichos resultados.

Tabla 11

Número de octanaje de las muestras simples

Muestras	Número de octanaje
Gasolina base	66,9
G. Base – 7% etanol	75,5
G. Base – 15% etanol	82,0
G. Base – 7% propanol	74,3
G. Base – 15% propanol	79,5
G. Base – 7% butanol	71,6
G. Base – 15% butanol	75,0

CONTINÚA →

G. Base – 7% isopropanol	79,3
G. Base – 15% isopropanol	79,1
G. Base – 7% isobutanol	73,2
G. Base – 15% isobutanol	77,8

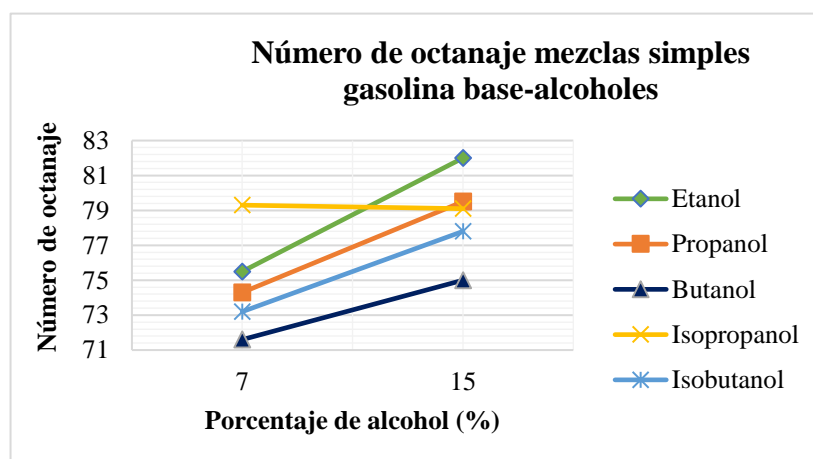


Figura 5. Número de octanaje de la gasolina base – alcoholes

Analizando la tabla 11, en la cual se presentan los valores numéricos de los resultados obtenidos para el número de octanaje de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base – alcohol, se observa que independientemente del alcohol y concentración del alcohol utilizado, existe un incremento en esta propiedad en comparación con la gasolina base de la Refinería Lago Agrio, obteniendo un máximo valor de 82 RON para la mezcla 15 % de etanol, lo cual se traduce en un aumento máximo de 15,1 unidades en comparación con la gasolina base, que presenta un valor de 66,9 RON.

Por otra parte, se puede observar que a excepción de las mezclas de isopropanol, existe una tendencia al incremento del octanaje de las mezclas a medida que se aumenta la concentración de un mismo alcohol. Finalmente, al comparar los valores

de octanaje de las mezcla de isómeros de cadena abierta y ramificada, se puede observar que en todos los casos, a excepción de la mezcla 15 % isopropanol, las mezclas de los isómeros de cadena ramificada presentan mayor octanaje que las respectivas mezclas de los isómeros de cadena lineal.

Se infiere que el aumento de número de octanaje ocurre ya que al adicionar pequeñas cantidades de alcohol se forman cadenas ramificadas en las moléculas de la gasolina base y por ende aumenta su capacidad antidetonante y su índice de octanos.

4.1.3. Presión de vapor

Para la determinación de la presión de vapor Reid de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base–alcohol se siguió el procedimiento descrito anteriormente en el ítem 3.6.2.3. Se realizaron dos ensayos por cada muestra para asegurar una repetibilidad de 1,4 kPa (norma NTE 0928). Los datos de la presión de vapor Reid se muestran en la tabla 19 y en la figura 10 se observa la desviación estándar entre ensayos. Además, para mejor interpretación de los mismos se ilustra los resultados en la figura 12.

Tabla 12

Datos de presión de vapor de muestras simples

Muestras	Presión de vapor (kPa)			Desviación estándar	Presión de vapor (kPa)
	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio		
Gasolina base	79,9	80,7	80,3	0,488 ≈ 0,5	80 ± 0,5

CONTINÚA →

G. Base– 7% etanol	64,8	64,1	64,5	$0,488 \approx 0,5$	$65 \pm 0,5$
G. Base– 15% etanol	68,3	68,9	68,6	$0,488 \approx 0,5$	$69 \pm 0,5$
G. Base– 7% propanol	66,8	65,5	66,2	$0,969 \approx 1$	66 ± 1
G. Base– 15% propanol	68,3	67,6	67,9	$0,969 \approx 1$	68 ± 1
G. Base– 7% butanol	64,1	64,8	64,5	$0,488 \approx 0,5$	$65 \pm 0,5$
G. Base– 15% butanol	59,9	61,4	60,7	$0,976 \approx 1$	61 ± 1
G. Base– 7% isopropanol	71,0	71,7	71,4	$0,484 \approx 0,5$	$71 \pm 0,5$
G. Base– 15% isopropanol	68,0	68,9	68,6	$0,488 \approx 0,5$	$69 \pm 0,5$
G. Base– 7% isobutanol	67,6	68,3	67,9	$0,488 \approx 0,5$	$68 \pm 0,5$
G. Base– 15% isobutanol	63,4	62,7	63,1	$0,488 \approx 0,5$	$63 \pm 0,5$

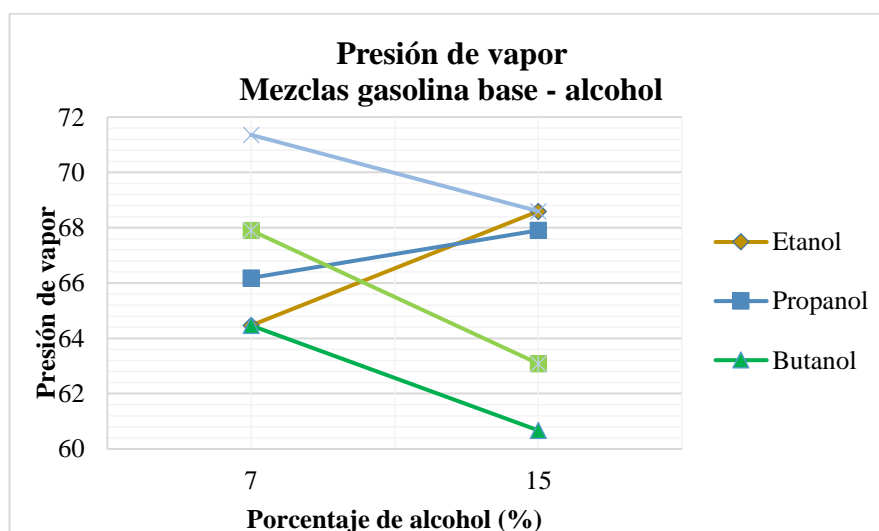


Figura 6. Presión de vapor Reid mezclas simples gasolina base – alcoholes

En la figura 6 se observa la desviación estándar entre los ensayos realizados, teniendo una desviación estándar promedio de 0,6.

Al comparar los datos de la tabla 12 se observa que al adicionar alcohol en la gasolina base de la Refinería Lago Agrio se obtiene una disminución de la presión de vapor en un promedio de 14 kPa con respecto a la gasolina base que posee una presión de vapor Reid de 80 kPa, y de todas las mezclas la que tiene menor presión de vapor fue con el 15 % butanol y la de mayor presión de vapor fue con el 7 % isopropanol. Dicha disminución de la presión de vapor se debe a que al añadir alcoholes capaces de formar puentes de hidrógeno entre sí, tienden a que la molécula no se escape en su totalidad a fase gaseosa.

La figura 12 ilustra de mejor manera la variación de la presión de vapor de la gasolina base al añadir diferentes alcoholes a diferentes concentraciones, observando que al aumentar la cantidad del alcohol las mezclas realizadas con isopropanol, isobutanol y butanol tienen una tendencia a disminuir la presión de vapor, mientras que las mezclas realizadas con etanol y propanol tienen tendencia a incrementar su presión de vapor.

En cuanto a los isómeros de cadenas lineales y los isómeros de cadenas ramificadas se observa que en los dos casos los isómeros de cadena ramificada tienen mayor presión de vapor que su isómero de cadena lineal a las mismas concentraciones.

Se infiere que este comportamiento ocurre debido a que cuando se agregan alcoholes ramificados, dichas ramificaciones funcionan como impedimentos estéricos provocando que entre cadenas exista menor interacción y por ende las moléculas

tiendan a evaporarse con mayor facilidad en comparación a cuando las moléculas son lineales y tienen interacciones más efectivas entre sí.

Por otro lado, se observa que los valores obtenidos en las mezclas superan los parámetros máximos que establece la norma INEN 930 para la gasolina comercial; sin embargo, todos los valores de presión de vapor cumplen con la norma INEN 2223 la cual establece los parámetros para motores de dos tiempos.

4.1.4. Poder calorífico

Para determinar el poder calorífico de la gasolina base y de las mezclas simples gasolina base-alcoholes se realizó el procedimiento mencionado en el ítem 3.6.2.4. Es así, que se empezó calculando la capacidad calorífica total del equipo mediante la aplicación de las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3, obteniendo como resultado la capacidad calorífica total de la bomba calorimétrica adiabática es de 11,75 KJ/ °C.

Posterior a estos cálculos, se determinó el poder calorífico de una muestra de gasolina extra para tener un valor referencial debido a que la norma NTE INEN 930 no establece rangos de esta propiedad para la gasolina. A continuación, en la tabla 13 y en la figura 7 se detalla el poder calorífico obtenido para las mezclas simples gasolina base-alcoholes.

Tabla 13

Resultados de poder calorífico de las muestras simples

Muestras	Temperatura inicial °C	Temperatura final °C	ΔT	Poder calorífico KJ/gr
----------	---------------------------	-------------------------	------------	---------------------------

CONTINÚA 

Gasolina extra	21	23,94	2,94	43,20
Gasolina base	21	24,18	3,18	46,73
G. Base– 7% etanol	21	24,06	3,06	44,97
G. Base– 15% etanol	21	24,0	3,00	44,08
G. Base– 7% propanol	21	24,01	3,01	44,23
G. Base– 15% propanol	21	24,14	3,14	46,14
G. Base– 7% butanol	21	24,29	3,29	45,41
G. Base– 15% butanol	21	24,04	3,04	44,67
G. Base– 7% isopropanol	21	23,95	2,95	43,35
G. Base– 15% isopropanol	21	23,82	2,82	41,44
G. Base– 7% isobutanol	21	24,13	3,13	46,00
G. Base– 15% isobutanol	21	24,02	3,02	44,38

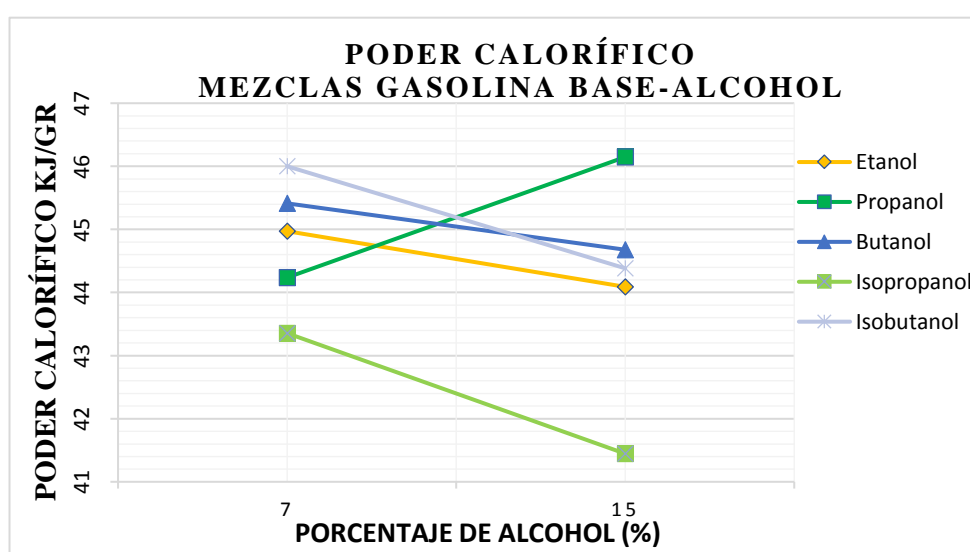


Figura 6. Poder calorífico mezclas simples gasolina base-alcoholes

Comparando el valor del poder calorífico de la gasolina base con las mezclas simples, se observó que al añadir alcoholes a diferentes concentraciones a la gasolina base existió una disminución en el poder calorífico en todas las mezclas, teniendo valores en un rango de menor poder calorífico al adicionar 15 % de isopropanol y con mayor poder calorífico al adicionar 15 % de propanol.

Así mismo, se observa que al aumentar la concentración de alcoholes a las mezclas simples se tiene una disminución del poder calorífico en el caso de 4 alcoholes (etanol, butanol, isopropanol e isobutanol); mientras que para la mezcla realizada con propanol se observó un aumento en el poder calorífico.

Además, se observa que no hay una tendencia que permita establecer comportamiento en cuanto a la estructura de los alcoholes.

Pese a la disminución del poder calorífico producido por la adición de alcoholes a la gasolina base, se observa valores no tan variables al poder calorífico de la gasolina extra. Por esta razón, se considera que la energía obtenida tras una combustión completa de las mezclas gasolina base – alcohol tendrá un rendimiento comparable a la que se produce con la gasolina extra y la gasolina base estudiada.

4.1.5. Contenido de azufre

La determinación del contenido de azufre se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM D4294 – 16 y efectuándose el procedimiento descrito en el ítem 3.6.2.5, comenzando con la elaboración de la curva de calibración para la determinación de azufre, a través de cuatro estándares diferentes de 0 %; 0,1 %; 0,15 % y 0,3 % en peso de azufre. En la figura 8 se detallan los datos para la determinación de la curva de calibración de azufre.

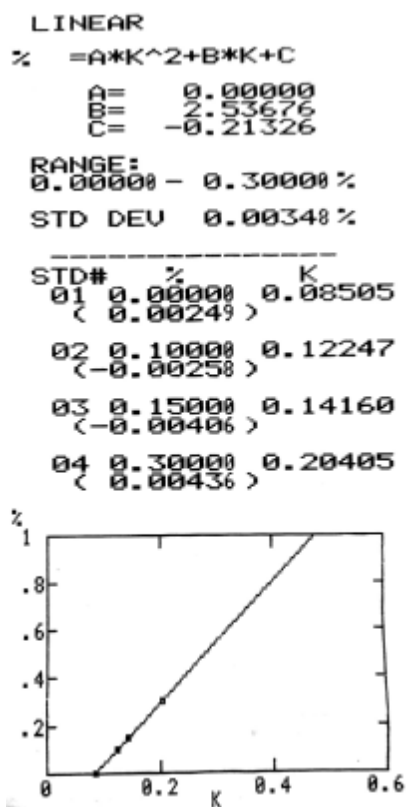



Figura 7. Curva de calibración de azufre

El contenido de azufre presente en la gasolina base producida en la refinería Lago Agrio es de 0,0185 %, lo cual cumple con el parámetro establecido en la norma INEN NTE 930 que corresponde a un máximo de 0,065 % de azufre.

4.1.6. Corrosión a la lámina de cobre

Para la determinación de la corrosión de la gasolina base a través de la lámina de cobre se cumplió con el procedimiento antes mencionado en el ítem 3.6.2.6. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 14 en donde se detalla la clasificación dentro de la cual se puede incluir a la gasolina base, y su respectiva lámina de cobre obtenida en el procedimiento.

Tabla 14
Resultados de lámina de cobre

Muestra	Figura	Clasificación correspondiente
Gasolina base		(3h /40 °C), <i>Clasificación 1b</i>

Al evaluar la corrosión de la lámina de cobre se observó que la gasolina base entra dentro de la clasificación tipo 1b, correspondiente a la tira de cobre a un leve delustre color naranja oscuro, cumpliendo con la clasificación típica para naftas.

4.1.7. Destilación ASTM 86

La destilación ASTM 86 se realizó cumpliendo con el procedimiento descrito en el ítem 3.6.2.7, obteniendo como resultado lo que se conoce como el perfil de ebullición, es decir, el porcentaje del volumen destilado en función de la temperatura.

En la tabla 15 se muestran los valores de volumen, temperatura y tiempo de la destilación y en la figura 9 dichos valores graficados.

Tabla 15
Resultados de destilación ASTM para la gasolina base

Volumen (%)	Temperatura corregida °C	Temperatura evaporada °C	Tipo/tiempo (ml/min)
IBP	28,1	28,1	5min38s

5,00	51,1	45,9	143s
10,00	60,8	56,1	4,7
15,00	68,8	65,0	4,7
20,00	76,3	72,6	4,5
30,00	88,2	85,6	4,5
40,00	97,8	95,6	4,5
50,00	106,0	104,0	4,5
60,00	113,8	111,8	4,5
70,00	122,0	119,9	4,4
80,00	131,1	128,7	4,5
85,00	135,9	133,3	4,4
90,00	141,8	138,5	4,1
5ml 91,7	144,0	140,3	21min30s
95,00	152,4	145,6	
FBP 95,9	166,0	166,0	5min00s
Residuo		1,0 ml	
Perdida corregida (100,2			
kPa)		2,3%	
Recuperado corregido %		96,7%	
Total recuperado corregido		97,7%	

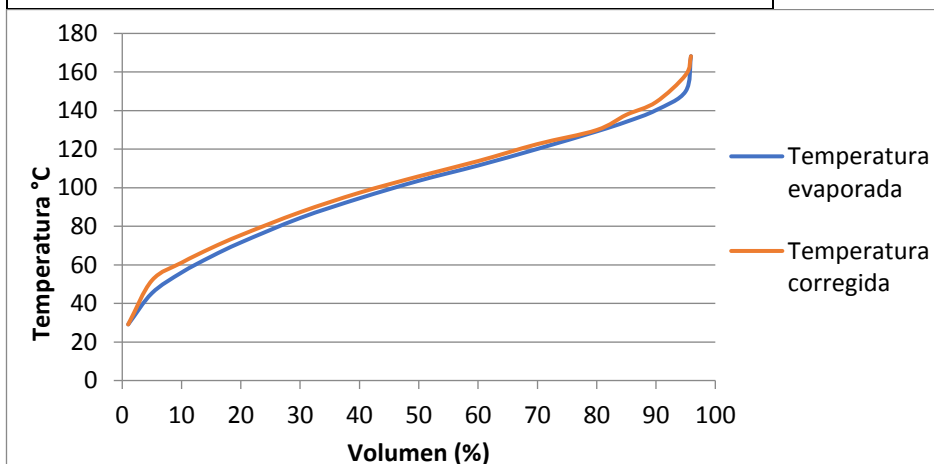


Figura 8. Perfil de ebullición obtenido a través de Destilación ASTM 86

En la tabla 23 se observan los datos obtenidos durante la destilación ASTM de la gasolina base, en donde se verifica que:

- El proceso inicia a los 28,1 ° C.
- Se obtuvo 1ml de residuo, lo cual representa 1 % del volumen total de alimentación.
- Se recuperó un volumen total de 97,7 %, lo cual implica 2,3 % de pérdidas de volumen.
- Se obtuvo al 10 % de volumen destilado una temperatura de 60,8 ° C, 50 % de volumen destilado una temperatura de 106,0 ° C y 90 % de volumen destilado una temperatura de 141,8 ° C.
- El punto final de la destilación FBP fue con el 95,9 % de volumen destilado con una temperatura de 166,0 ° C.

Uno de los objetivos de realizar el análisis de destilación ASTM de la gasolina base en estudio, se refiere a obtener los valores de porcentaje de volumen destilado a ciertas temperaturas para clasificarla como nafta liviana o pesada. La norma INEN 2253, que establece parámetros mínimos y máximos para clasificar y diferenciar entre naftas industriales livianas y naftas industriales pesadas en el Ecuador, establece que para naftas industriales livianas se debe tener 10% de volumen destilado en el rango de temperaturas de 40 a 70 ° C, 50 % de volumen destilado en el rango de temperaturas de 50 a 120 ° C, 90 % de volumen en el rango de temperaturas de 85 a 165 ° C, el punto final de la destilación (FBP punto final de burbuja) en el rango de 98 a 190 ° C y un porcentaje de residuo máximo del 1 %. Para naftas industriales pesadas los valores corresponden al 10 % de volumen destilado en el rango de temperaturas de 60 a 110 ° C, 50 % en el rango de temperaturas de 90 a 130 ° C, 90 % en el rango de temperatura

de 120 a 170 ° C, el punto final de la destilación (FBP punto final de burbuja) de 160 a 190 ° C y un residuo de destilación máximo del 1 %.

Al comparar los volúmenes antes mencionados con los resultados obtenidos en la destilación de la gasolina base en estudio, se observa que ésta se encuentra en los rangos de temperatura establecidos por la norma INEN 2253 para naftas livianas; sin embargo, para hacer una clasificación definitiva de la misma se debe evaluar también los parámetros de número de octanaje, presión de vapor, azufre y corrosión a la lámina de cobre.

4.1.8. Gravedad API, densidad y densidad relativa

Los ensayos de determinación de la gravedad API, densidad y densidad relativa, se llevaron a cabo siguiendo los procedimientos descritos en los ítem 3.6.2.8, que se encuentran en el capítulo 3. En la tabla 16 se muestran los resultados de dichos ensayos.

Tabla 16
Resultado de los ° API de la gasolina base

Gasolina Base	
Densidad relativa @ 60 °F	0.718
° API	65.5
Densidad kg/m^3	717.724

4.2. Elaboración de mezclas compuestas gasolina base – alcohol lineal – alcohol ramificado

Como se mencionó en el marco experimental, se llevaron a cabo mezclas de la gasolina base con 5 alcoholes diferentes (3 lineales y 2 ramificados) a las mismas concentraciones, y posteriormente se procedió a medir las propiedades de las mismas para evaluar sus posibles desempeños como combustibles. Al comparar las propiedades medidas se observan variaciones importantes que permiten establecer que todas las mezclas deberán presentar mejor desempeño como combustible, sin embargo, no existe un conjunto de evidencias que permita establecer, contundentemente, cuál de ellas es la mejor. En virtud de dicha observación se procedió a establecer al octanaje como el criterio más importante para discriminar las mezclas de alcohol lineal y alcohol ramificado que presentan los valores más altos y se procedió a preparar 3 mezclas de las mismas con la gasolina base, para posteriormente hacer una medición de sus propiedades. En la tabla 17 se presentan las composiciones de las tres mezclas mencionadas anteriormente.

Tabla 17
Mezclas compuestas formuladas

Cantidad de alcohol (lineales – ramificados)		Cantidad de gasolina base
5 % Etanol	10 % Isopropanol	85 %
7,5 % Etanol	7,5 % Butanol	85 %
10 % Etanol	5 % Isobutanol	85 %

4.3. Resultados y discusión de mezclas compuestas

Tras haber seleccionado nuevas mezclas gasolina base-alcohol (lineal y ramificado); como se menciona en el marco experimental, se evaluó estas mezclas bajo 5 parámetros (número de octanaje, presión de vapor, poder calorífico, destilación ASTM y corrosión a la lámina de cobre).

A continuación, se detalla los resultados obtenidos para cada prueba realizada.

4.3.1. Número de octanaje

Los valores numéricos de la prueba para determinación del número de octanaje de las mezclas compuestas gasolina base-alcohol lineal-alcohol ramificado se encuentran en la tabla 18.

Tabla 18

Número de octanaje de mezclas compuestas

Mezcla	Número de octanaje
Gasolina base-5% etanol-10% isopropanol	78,5
Gasolina base-7,5% etanol-7,5% isopropanol	79,1
Gasolina base-10% etanol-5% isopropanol	80,2

Al comparar los resultados del número de octanaje de las mezclas compuestas de la tabla 26, se observa que estos valores poseen un incremento en dicha propiedad en comparación con la gasolina base de la Refinería Lago Agrio, con un aumento promedio de 12,4 RON.

Además, al comparar los valores de octanaje de las mezclas compuestas se observa que el máximo valor corresponde a la mezcla gasolina base - 10 % etanol - 5 % isopropanol y el mínimo valor a la mezcla gasolina base - 5 % etanol - 10 % isopropanol.

4.3.2. Presión de vapor

Para la determinación de la presión de vapor Reid se siguió la metodología experimental descrita en el ítem 3.6.2.3. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Datos de presión de vapor de las mezclas compuestas

Muestras	Presión de vapor (kPa)			Desviación estándar	Presión de vapor (kPa)
	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio		
Gasolina base-5% etanol- 10% isopropanol	71,70	71,01	71,35	0,48 \approx 0,5	71 \pm 0,5
Gasolina base-7,5% etanol- 7,5% isopropanol	73,77	72,39	73,08	0,97 \approx 1	73 \pm 1
Gasolina base-10% etanol- 5% isopropanol	76,53	75,15	75,84	0,97 \approx 1	75 \pm 1

En la tabla 19 se observa que la diferencia entre los ensayos realizados de una misma mezcla es mínima, teniendo una desviación estándar promedio de 0,8.

Comparando los valores numéricos de presión de vapor Reid de las mezclas compuestas, se observa que las mezclas mientras mayor cantidad de alcohol lineal y

menor cantidad de alcohol ramificado es agregado, se obtiene un aumento en la presión de vapor Reid. Es así, que el mayor valor de presión de vapor corresponde a la mezcla gasolina base - 10 % etanol - 5 % isopropanol y el mínimo valor a la mezcla gasolina base - 5 % etanol - 10 % isopropanol.

4.3.3. Poder calorífico

Para determinar el poder calorífico de las mezclas compuestas se cumplió el procedimiento mencionado en el ítem 3.6.2.4. En la tabla 20 se detalla el poder calorífico obtenido para las mezclas compuestas.

Tabla 20

Datos de poder calorífico de las mezclas compuestas

Muestras	Temperatura inicial °C	Temperatura final °C	ΔT	Poder calorífico KJ/gr
Gasolina base-5% etanol-10% isopropanol	21	23,88	2,88	42,32
Gasolina base-7,5% etanol-7,5% isopropanol	21	23,91	2,91	42,76
Gasolina base-10% etanol-5% isopropanol	21	23,82	2,82	41,44

Analizando la tabla 20 se observa que al realizar cualquier tipo de mezcla compuesta el valor del poder calorífico disminuye a comparación de la gasolina base utilizada, la cual posee un poder calorífico de 46,73 kJ/gr.



Por otro lado, se observa que al añadir la misma cantidad de alcohol lineal y ramificado se consigue el mayor valor de poder calorífico siendo este 42,76 kJ/gr.

4.3.4. Corrosión a la lámina de cobre

Para determinar la corrosión producida por las mezclas compuestas en una lámina de cobre se siguió el procedimiento antes mencionado en el ítem 3.6.2.6. En la tabla 21, se detalla la clasificación correspondiente para cada mezcla evaluada con su respectiva lámina de cobre obtenida.

Tabla 21

Resultados de lámina de cobre de mezclas compuesta

Muestra	Figura	Clasificación correspondiente
Gasolina base – 5% etanol – 10% isopropanol		(3h/40 °C), Clasificación 1a
Gasolina base –7,5% etanol -7,5% isopropanol		(3h/40 °C), Clasificación 1a

CONTINÚA →



En la tabla 21, se analiza que las tres mezclas compuestas poseen clasificación tipo 1a y 1b, los cuales cumplen con la clasificación para naftas y para gasolina extra.

4.3.5. Destilación ASTM 86

Para la determinación de la destilación ASTM 86 se realizó cumpliendo con el procedimiento descrito en el ítem 3.6.2.7. En las siguientes tablas se detallan los valores de volumen, temperatura y tiempo de la destilación de cada mezcla evaluada y en la figura 13 se grafican dichos valores.

Tabla 22

Destilación ASTM Gasolina base – 10 % etanol- 5 % isopropanol

Volumen (%)	Temperatura corregida °C	Temperatura evaporada °C	Tipo/tiempo (ml/min)
IBP	32,6	32,6	5 min 34 s
5,00	53,0	49,9	138 s
10,00	58,1	56,2	4,7
15,00	61,7	60,1	4,5
20,00	64,4	63,1	4,5

30,00	68,6	67,8	4,4
40,00	71,8	71,1	4,4
50,00	81,4	77,0	4,2
60,00	108,7	105,6	4,8
70,00	118,8	116,5	4,5
80,00	128,7	126,3	4,3
85,00	134,1	130,1	4,3
90,0	140,6	137,5	4,5
5ml 91,7	143,1	139,6	21 min 29 s
95,00	150,8	145,3	
FBP 95,9	156,5	156,5	1 min 34 s
Residuo		1,0 ml	
Perdida corregida (100,3 kPa)		2,0 %	
Recuperado corregido %		97,0 %	
Total recuperado corregido		98,0 %	

Tabla 23*Destilación ASTM Gasolina base – 7,5 % etanol - 7,5 % isopropanol*

Volumen (%)	Temperatura corregida °C	Temperatura evaporada °C	Tipo/tiempo (ml/min)
IBP	33,7	33,7	5 min 35 s
5,00	52,5	49,0	130 s
10,00	58,2	55,9	4,8
15,00	62,1	60,5	4,6
20,00	64,9	63,6	4,5
30,00	69,2	68,5	4,5
40,00	72,5	71,7	4,4
50,00	82,4	77,8	4,2
60,00	108,3	105,1	5,0

70,00	117,6	115,7	4,4
80,00	127,8	125,5	4,6
85,00	133,2	130,4	4,3
90,00	139,5	136,5	4,5
5ml 91,7	142,1	138,7	21 min 16 s
95,00	149,7	143,8	
FBP 95,9	155,1	155,1	1 min 38 s
Residuo			1,0 ml
Perdida corregida (99,8 kPa)			2,0 %
Recuperado corregido %			97,0 %
Total recuperado corregido			98,0 %

Tabla 24

Destilación ASTM Gasolina base – 5 % etanol - 10 % isopropanol

Volumen (%)	Temperatura corregida °C	Temperatura evaporada °C	Tipo/tiempo (ml/min)
IBP	34,7	34,7	5 min 51 s
5,00	54,0	51,8	128 s
10,00	59,6	58,3	4,7
15,00	63,4	62,4	4,5
20,00	66,3	65,6	4,5
30,00	70,6	70,0	4,4
40,00	74,3	73,6	4,5
50,00	84,1	80,8	4,1
60,00	109,8	108,2	5,0
70,00	119,3	118,0	4,5
80,00	129,1	127,6	4,5
85,00	134,2	132,7	4,5
90,00	140,3	138,5	4,3

5ml 91,7	142,8	104,7	21 min 13 s
95,00	149,3	146,1	
FBP 95,9	159,1	159,1	5 min 00 s
Residuo			1,0 ml
Perdida corregida (100,2 kPa)			1,3 %
Recuperado corregido %			97,7 %
Total recuperado corregido			98,7 %

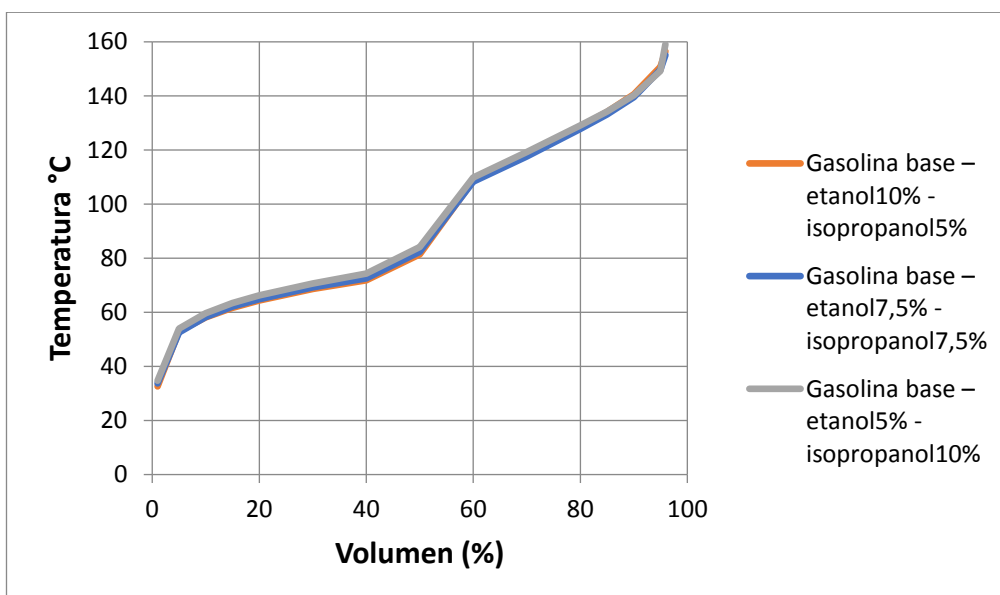


Figura 9. Perfil de ebullición de mezclas compuestas

Para analizar los perfiles de ebullición de las mezclas compuestas, se comparó las temperaturas obtenidas a los 10, 50 y 90 % de volumen destilado, el volumen de residuo y el volumen recuperado. Es así, que para la primera mezcla gasolina base – 5 % etanol – 10 % isopropanol se tiene los siguientes resultados:

- El proceso inicia a los 34,7 ° C.

- Se obtuvo 1 ml de residuo, lo cual representa 1 % del volumen total de alimentación.
- Se recuperó un volumen total de 98,7 %, lo cual implica 1,3 % de pérdidas de volumen.
- Se obtuvo al 10 % de volumen destilado una temperatura de 59,6 ° C, 50 % de volumen destilado una temperatura de 84,1 ° C y 90 % de volumen destilado una temperatura de 140,3 °C.
- El punto final de la destilación FBP fue con el 95,9 % de volumen destilado con una temperatura de 159,1 ° C.

Para la mezcla gasolina base – 7,5 % etanol - 7,5 % isopropanol se obtuvo los siguientes resultados:

- El proceso inicia a los 33,7 ° C.
- Se obtuvo 1 ml de residuo, lo cual representa 1 % del volumen total de alimentación.
- Se recuperó un volumen total de 98,0 %, lo cual implica 2,0 % de pérdidas de volumen.
- Se obtuvo al 10 % de volumen destilado una temperatura de 58,2 ° C, 50 % de volumen destilado una temperatura de 82,4 ° C y 90 % de volumen destilado una temperatura de 139,5 ° C.
- El punto final de la destilación FBP fue con el 95,9 % de volumen destilado con una temperatura de 155,1 °C.

Y para la última mezcla gasolina base – 10 % etanol – 5 % isopropanol se obtuvo los siguientes resultados:

- El proceso inicia a los 32,6 ° C.
- Se obtuvo 1 ml de residuo, lo cual representa 1 % del volumen total de alimentación.
- Se recuperó un volumen total de 98,0 %, lo cual implica 2,0 % de pérdidas de volumen.
- Se obtuvo al 10 % de volumen destilado una temperatura de 58,1 ° C, 50 % de volumen destilado una temperatura de 81 ,4 ° C y 90 % de volumen destilado una temperatura de 140,6 ° C.
- El punto final de la destilación FBP fue con el 95,9 % de volumen destilado con una temperatura de 156,5 ° C.

De esta manera, se puede observar en la figura 16 que el perfil de ebullición de las tres mezclas compuestas son similares.

4.4. Análisis del desempeño de las mejores mezclas (simples y compuestas) como combustible en motores de 2 y 4 tiempos

Tras haber realizado y analizado las distintas mezclas (simples y compuestas) de la gasolina base, se tomaron las mejores utilizando como criterio las que presentaron mayor número de octanaje, para posteriormente evaluar su desempeño en motores de gasolina de 2 y 4 tiempos. Las mezclas seleccionadas para cada conjunto son las siguientes:

- 15 % Etanol - 85 % gasolina base
- 10 % Etanol - 5 % isobutanol - 85 % gasolina base

4.4.1. Desempeño en motor de gasolina de 2 tiempos

Para evaluar el comportamiento como combustible de las mezclas aditivadas en un motor de gasolina de 2 tiempos se realizaron curvas de desempeño tomando como guía el rendimiento y comportamiento de la gasolina extra, tomando en cuenta las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Variación de la velocidad desde 3400 rpm hasta 1600 rpm con intervalos de 200 rpm.
- Aceleración constante del 100 %.
- Volumen de prueba: 16 cm³

En la tabla 25 se detallan las características específicas del equipo utilizado.

Tabla 25

Características del motor a gasolina de 2 tiempos

CARACTERIZTICAS DEL MOTOR A GASOLINA DE 2 TIEMPOS	
Banco de pruebas	Tecquipment TD-111 con dinamómetro hidráulico
	Sachs stamo st-151
Motor	Cilindrada: 151 cm ³
	Potencia: 3.3 kw
Auxiliares	Contador de vueltas
	Cronómetro

A continuación se presentan las propiedades mecánicas evaluadas en el motor de dos tiempos.

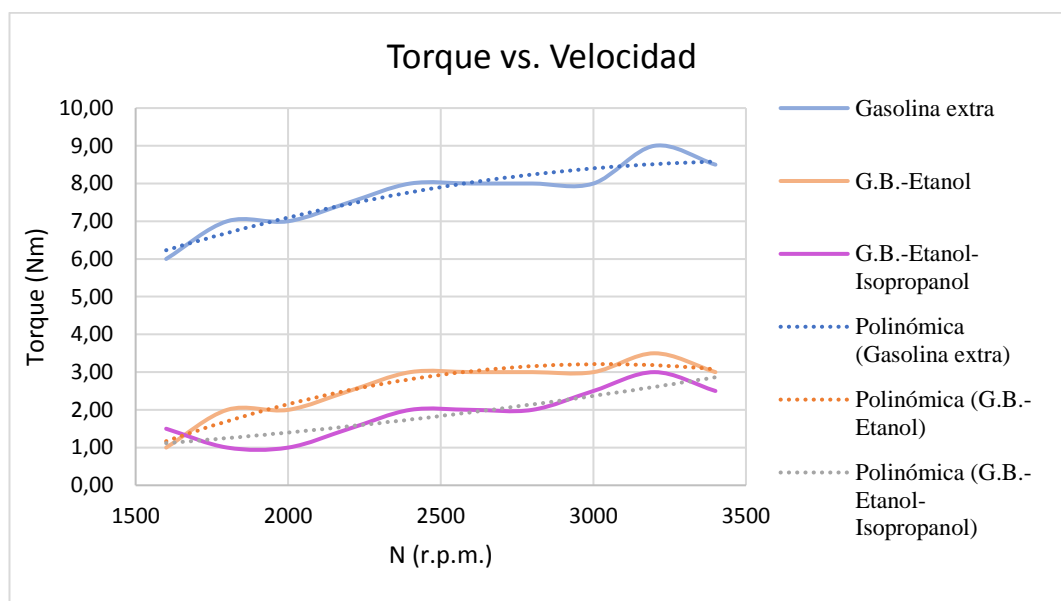


Figura 10. Curva de torque vs. Velocidad

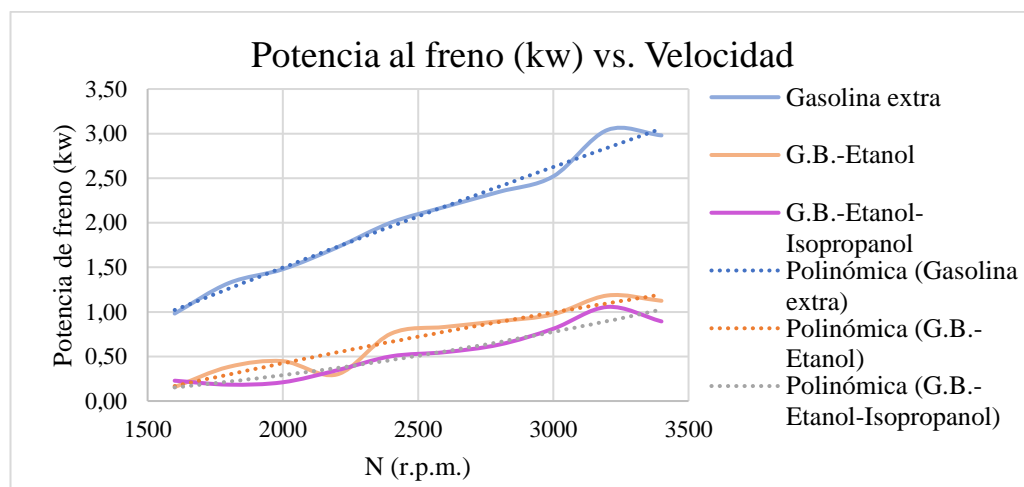


Figura 11. Curva potencia al freno (kw) vs. Velocidad

En términos técnicos, el torque (par motor) es la fuerza que producen los cuerpos en rotación y se puede definir como la capacidad que tiene el motor para producir un trabajo útil y la potencia al freno es aquella que se obtiene en el cigüeñal del motor e indica la capacidad de cumplir con una determinada cantidad de trabajo producida por unidad de tiempo. En las figuras 10 y 11 se observa que las curvas de desempeño del

motor tanto para la gasolina extra como para las gasolinas aditivadas tienen una diferencia apreciable entre las tres curvas. Se infiere que este comportamiento se da debido a que el motor no permite una recalibración en el sistema de suministro de gasolina lo que mejoraría en forma apreciable su rendimiento con las mezclas gasolina base – alcoholes.

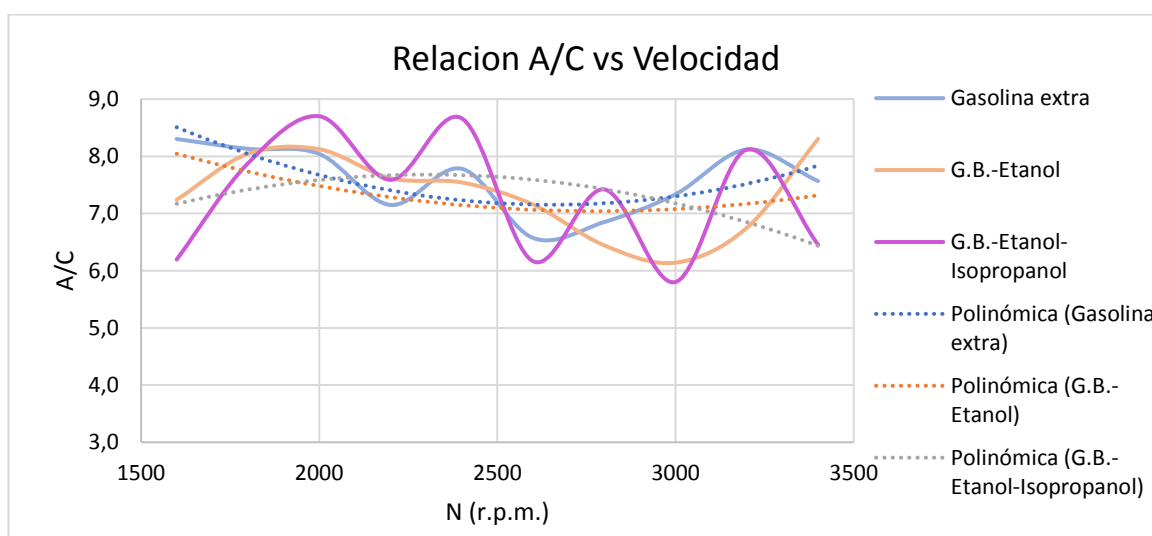


Figura 12. Curva Relación A/C vs Velocidad

Esta relación queda definida como la relación entre la cantidad de aire utilizado en la combustión y la cantidad de combustible quemado. Cuando en los productos resultantes de la combustión no existen compuestos contaminantes, se dice que la combustión es completa y que esta relación aire-combustible es la teórica o estequiométrica. En la figura 12 se puede determinar que la gasolina extra y la mezcla gasolina base - etanol consiguen el mismo rendimiento del motor con una relación aire/combustible casi similar. Sin embargo, para la mezcla gasolina base – etanol - isopropanol se observa que para obtener un mejor rendimiento del motor tiene que ser ligeramente más pobre en su relación aire/combustible (con exceso de aire).

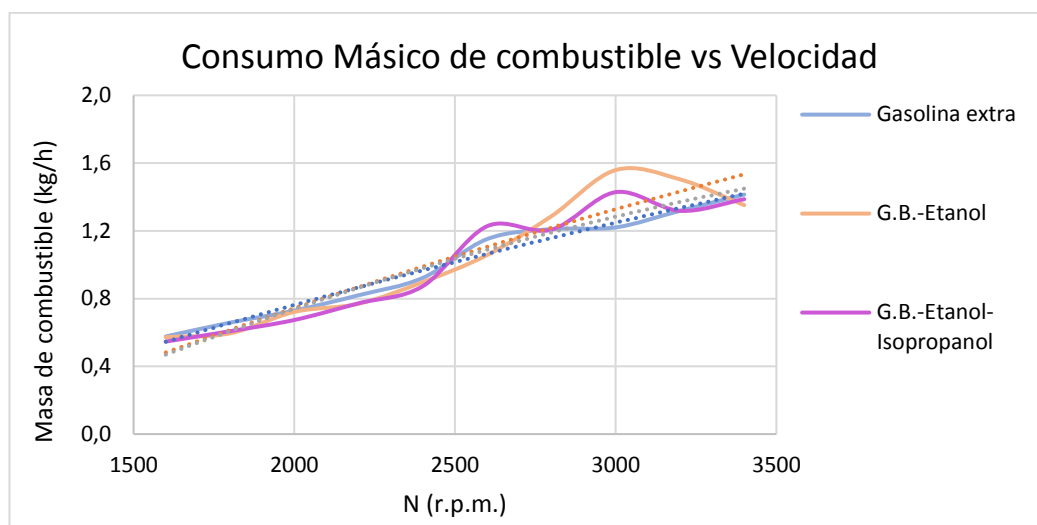


Figura 13. Curva de consumo másico de combustible vs Velocidad

Este parámetro de desempeño indica la rapidez con que un motor consume una determinada cantidad de combustible para generar una unidad de potencia. Es así que en la figura 13 se puede observar que el rendimiento del motor es casi similar funcionando con gasolina extra, gasolina base-etanol y gasolina base-etanol-isopropanol.

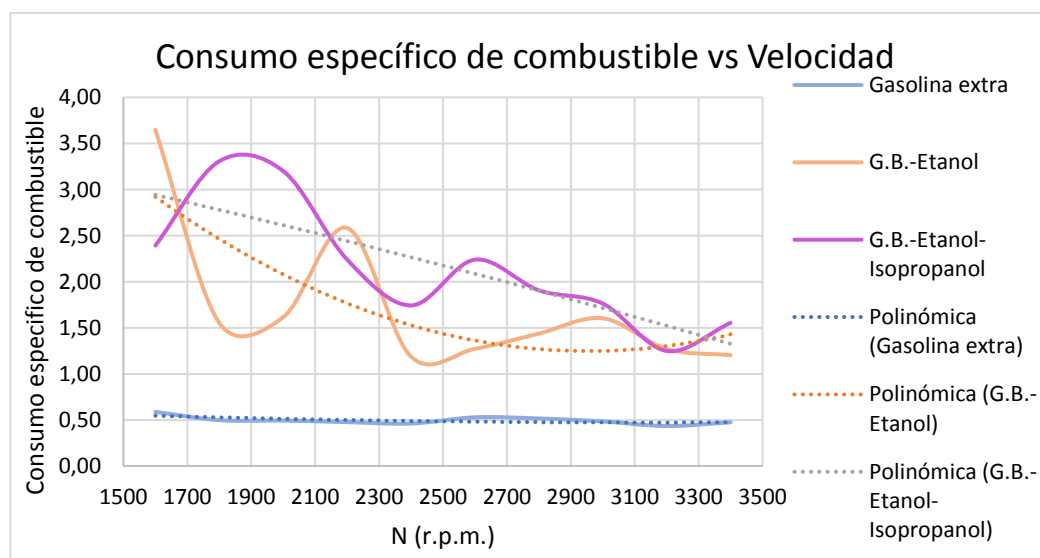


Figura 14. Curva consumo específico de combustible vs Velocidad

El consumo específico de combustible indica la capacidad que tiene un motor de combustión interna, para transformar la energía calorífica contenida en el combustible en energía mecánica, y se expresa como la cantidad de combustible consumido en gramos para obtener una determinada potencia en kilovatios (kW), durante una hora (g/kWh). En la figura 14 se observa que las curvas de funcionamiento para las mezclas gasolina base-etanol y gasolina base-etanol-isopropanol presentan condiciones desfavorables de economía de combustible (mayor consumo de combustible) para obtener la misma potencia.

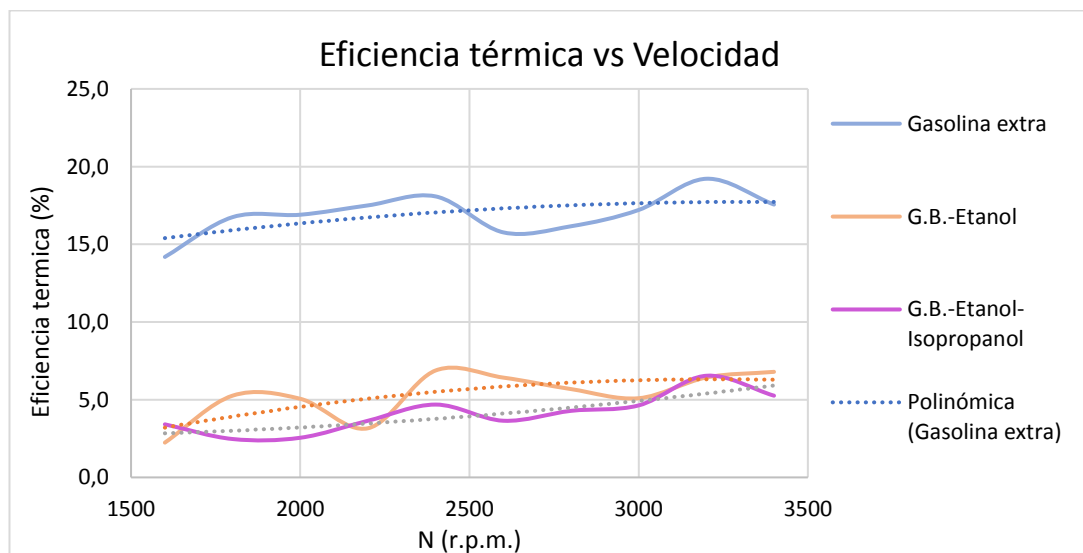


Figura 15. Curva eficiencia térmica vs Velocidad

En termodinámica se define la eficiencia térmica para un ciclo termodinámico, como la eficiencia en la conversión del calor en trabajo útil.

De igual manera, la eficiencia térmica de un motor indica, el grado de aprovechamiento del poder calorífico del combustible, para desarrollar una unidad de potencia. En la figura 15 se observa que las curvas de desempeño obtenidas en el motor para las mezclas gasolina base - etanol y gasolina base – etanol - isopropanol presentan

condiciones inferiores de aprovechamiento de la energía liberada al quemarse para generar una mayor potencia del motor con respecto a la gasolina extra, esto ocurre ya que el motor no permite una recalibración en el sistema de suministro de gasolina para variar su relación aire/combustible.

4.4.2. Desempeño en motor de gasolina de 4 tiempos

Para evaluar el comportamiento como combustible de las mezclas aditivadas en un motor de gasolina de 4 tiempos se realizaron curvas de desempeño tomando como guía el rendimiento y comportamiento de la gasolina extra, tomando en cuenta las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Variación de la velocidad desde 3400 rpm hasta 1600 rpm con intervalos de 200 rpm.
- Aceleración constante del 100 %.
- Volumen de prueba: 25 cm³

En la tabla 26 se detallan las características específicas del equipo utilizado.

Tabla 26

Características del motor a gasolina de 4 tiempos

CARACTERIZTICAS DEL MOTOR A GASOLINA DE 4 TIEMPOS	
Banco de pruebas	PLINT TE-46 con dinamómetro eléctrico
Motor	Norton villiers f.15 Cilindrada: 147 cm ³

CONTINÚA →

Auxiliares	Contador de vueltas
	Cronómetro

A continuación, se presenta las propiedades mecánicas evaluadas en el motor de cuatro tiempos.

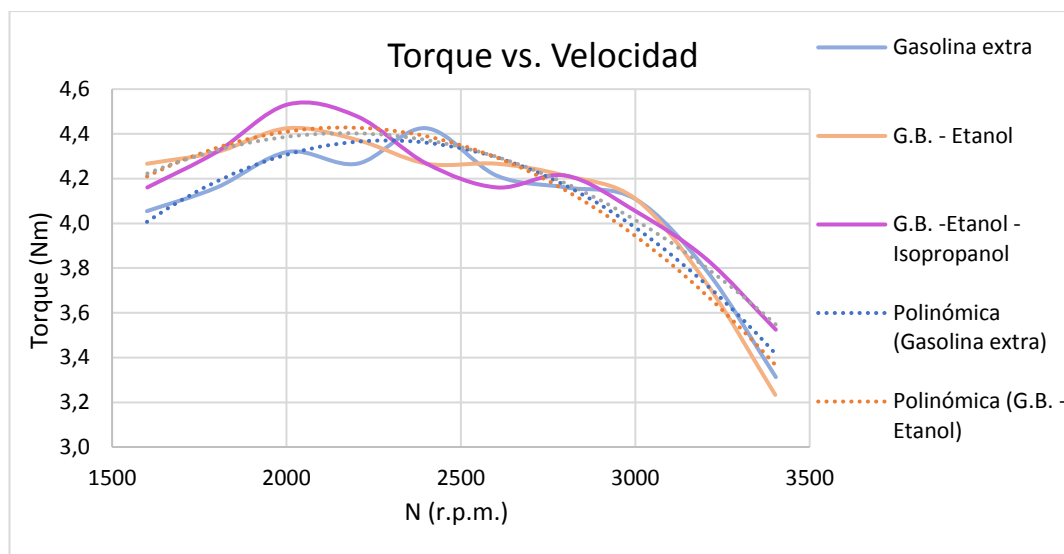


Figura 16. Curva de torque vs. Velocidad

En la figura 16 se observa las curvas de desempeño del motor funcionando con gasolina extra y con las mezclas simples y compuestas, en donde se nota que no existe una diferencia apreciable entre las tres curvas, sin embargo; la mezcla gasolina base-etanol tiene un mejor rendimiento relativamente.

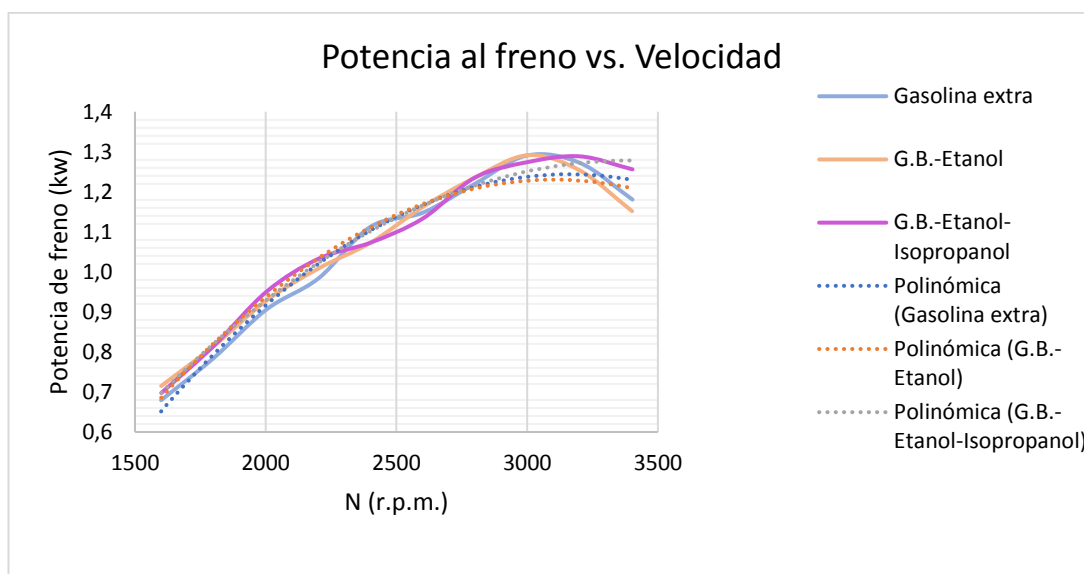


Figura 17. Curva potencia al freno vs. Velocidad

En la figura 17 se observa que las curvas de desempeño del motor utilizando las mezclas de gasolina base-alcoholes no tienen una diferencia apreciable a comparación de la gasolina extra. Sin embargo, la gasolina base-etanol-isopropanol tiene un mejor rendimiento generando una mayor potencia al freno.

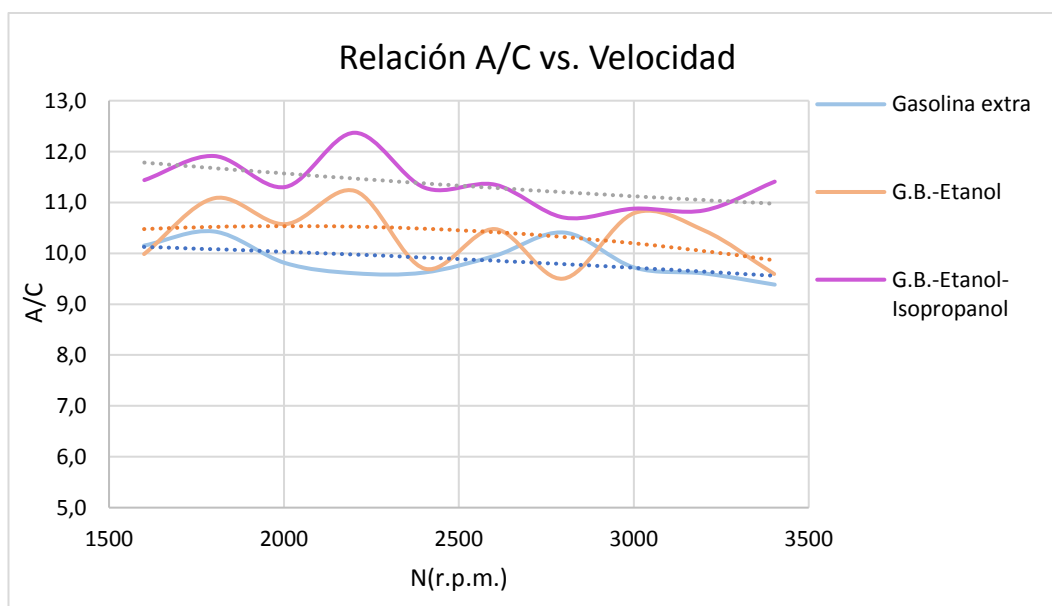


Figura 18. Curva relación A/C vs. Velocidad

Observando la figura 18, las curvas relación de aire/combustible en función a la velocidad se puede determinar que las mezclas gasolina base - etanol y gasolina base – etanol - isopropanol tienen un mejor rendimiento trabajando el motor con mezclas ligeramente pobres (con exceso de aire).

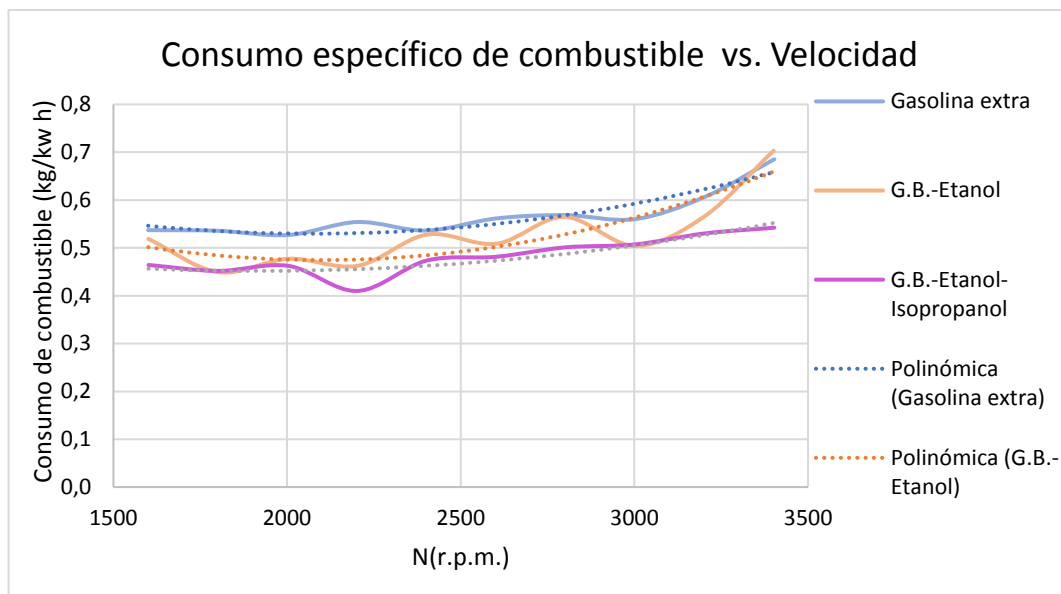


Figura 19. Curva del consumo específico de combustible vs. Velocidad

En la figura 19 se observa que el motor al utilizar las mezclas gasolina base-etanol y gasolina base – etanol - isopropanol presentan mejores condiciones de economía (menor consumo de combustible) para obtener la misma potencia.

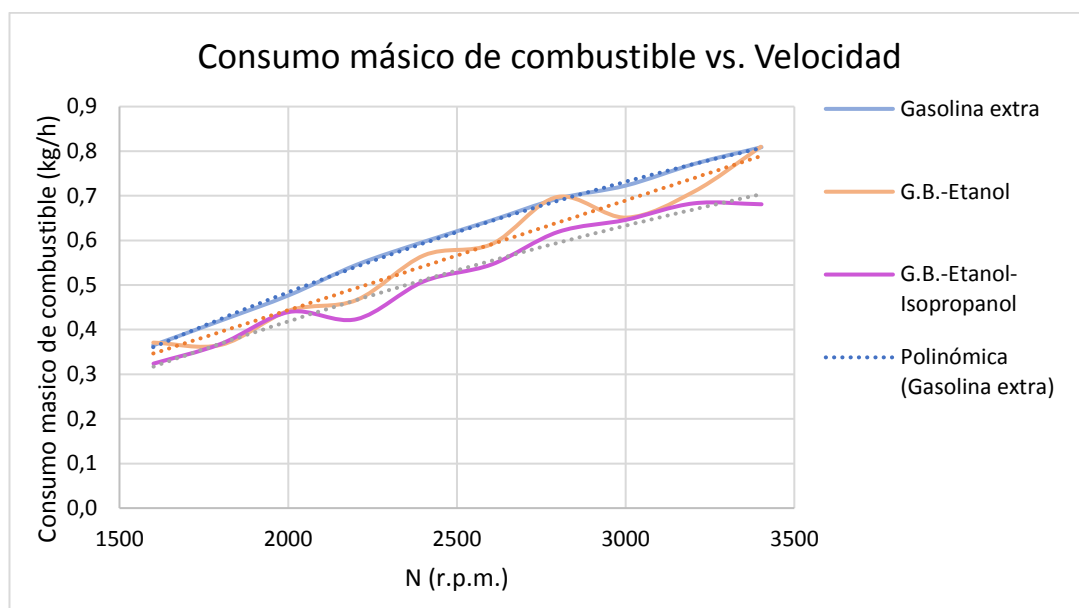


Figura 20. Curva de consumo másico de combustible vs. Velocidad

En la figura 20 se puede observar que el motor de 4 tiempos a gasolina consume menos combustible en función de la velocidad de giro funcionando con las mezclas gasolina base - etanol y gasolina base – etanol - isopropanol.

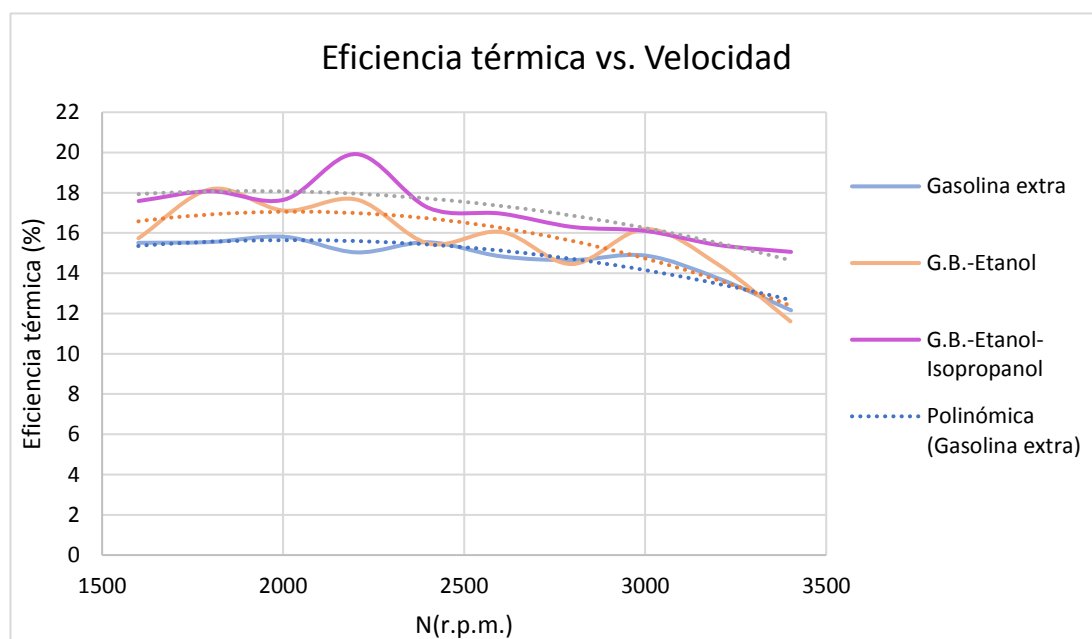


Figura 21. Curva eficiencia térmica vs. Velocidad

En las curvas de desempeño obtenidas en la figura 21 se observa que el funcionamiento del motor al utilizar las mezclas gasolina base - etanol y gasolina base – etanol - isopropanol presentan mejores condiciones de aprovechamiento de la energía liberada al quemarse estos combustibles para generar una mayor potencia del motor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La caracterización de la gasolina base realizada permite afirmar que se trata de una nafta industrial liviana según la norma INEN 2253.
- La modificación de la composición de la gasolina base con los diferentes alcoholes empleados representó, en promedio, un aumento de 15,1 unidades de su número de octanaje, una disminución de 14 kPa de su presión de vapor y una reducción de 1,5 kJ/kg de su poder calorífico.
- En general, las mezclas simples de alcoholes ramificados presentaron mayores valores del número de octanaje que las realizadas con los respectivos alcoholes isómeros de cadena lineal, lo cual se atribuye a la capacidad de los primeros para producir una combustión más suave, uniforme y efectiva que los segundos.
- Considerando el número de octanaje como la propiedad determinante para evaluar la calidad de las mezclas realizadas, se concluye que las mezclas más eficientes fueron:
 - 15 % Etanol - 85 % gasolina base
 - 10 % Etanol - 5 % isobutanol - 85 % gasolina base
- El desempeño de las mezclas eficientes en el motor a gasolina de 2 tiempos es peor que la gasolina extra a las condiciones fijas de la relación aire combustible.

- El desempeño de las mezclas eficientes en el motor a gasolina de 4 tiempos es comparable con la gasolina extra, siempre y cuando se modifique la relación aire-combustible del carburador.
- Se infiere que la mezcla 15 % Etanol - 85 % gasolina base, considerada eficiente, se podría utilizar como combustible en automóviles, sierras eléctricas y lanchas, siempre y cuando sea posible la modificación en el carburador del motor.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar pruebas de desempeño como combustible a las mezclas de gasolina base - alcohol en un motor de 2 tiempos donde se pueda modificar el carburador del motor.
- Ya que la muestra de gasolina base proveniente de la Refinería Lago Agrio es compleja, se recomienda utilizar una columna cromatográfica que permita llevar a cabo una mejor separación de las señales cromatográficas.
- Debido a que la gasolina base es volátil, se recomienda transportarla y almacenarla a temperaturas comprendidas entre 0 y 4 °C para evitar la evaporación de sus componentes más livianos.
- Realizar las mezclas usando alcoholes absolutos, es decir, sin contenido de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, G. M. (2017). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas de la gasolina extra aditivada con alcoholes, en la refinería de Esmeraldas*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Amanqui Rodriguez, M. E., & Aguilar Alcoser, J. L. (2011). *Estudio técnico-económico de prefactibilidad de un proceso de transformación para el incremento de octanaje de gasolinas en refinerías de la selva del Perú*. Lima.
- Amanqui Rodriguze, M. E., & Aguilar Alcoser, J. L. (2011). *Estudio técnico-económico de prefactibilidad de un proceso de transformación para el incremento de octanaje de gasolinas en refinerías de la selva del Perú*. Lima.
- Annual Book of ASTM Standards* . (2012). Index.
- ASTM. (1993). *Annual Book of ASTM Standards. Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuel*. Canadá: Staff.
- Banco Central del Ecuador. (2018). *Reporte del sector petrolero III Trimestre de 2017*.
- Blumberg, K., Walsh, M., & Pera, C. (2003). *Gasolina y Diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares*.
- Borgna, A., Cosimo, J. D., & Figoli, N. (2001). *Petróleo y gas natural. Reservas, procesamientos y usos*. Argentina: Unl.
- Calle G. , L. A. (2004). *Química y caracterizticas del petróleo y productos básicos*. Quito.
- Carpio Pezantes, M. S., & Cedillo Sánchez, F. R. (2015). *Caracterización de efectos de la mezcla gasolina-etanol en un motor Armfield Volkswagen CM11 mediante el levantamiento de una base de datos por análisis de gases y espectros de vibración* . Cuenca.
- Chile, P. u. (s.f.). *Indice de octano*. Chile.
- Científicos, T. (18 de octubre de 2006). *Combustibles líquidos Gasolinas*. Recuperado el 07 de 04 de 2018, de <https://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/gasolinas>
- CQ Conquimica. (2014). Recuperado el 21 de 10 de 2017, de http://www.conquimica.com/wp-content/uploads/2015/06/ft_propanol.pdf
- Demirbas, A., Balubaid, M. A., Basahel, A. M., & Ahmad, W. (2015). Octane rating of gasoline and octane booster additives. *Petroleum Science and Technology*, 1190-1197.

- Domínguez, R. R. (2013). *Grados API y gravedad específica de los hidrocarburos - compuestos líquidos*.
- Dorwil Química Analítica. (s.f.). *Hoja de datos de seguridad Butanol*. Buenos Aires. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de <http://www.dorwil.com.ar/msds/Butanol.pdf>
- Ecuador, B. C. (2016). *Cifras del sector petrolero ecuatoriano N° 110-2016*. Quito.
- García Martínez, J. A. (2000). Determinación de aditivos oxigenados en gasolina mexicana por cromatografía de gases-espectrometría de masas. *Sociedad Química de México*, 237-242.
- García, R. (2001). *Combustión y Combustibles*.
- GTM. (2016). *Isobutanol, ficha de seguridad*.
- Guzmán, L. (2013). *Estudio de factibilidad del uso de etanol anhidro en mezclas con gasolina en el distrito metropolitano de Quito*. Quito: Universidad Central del Ecuador .
- Hernández, P. C. (2008). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos con etanol al 10% y 15% en volumen*. Monterrey: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey.
- Himmelblau, D. (2002). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. México: Prentice-Hall.
- IICA. (2004). *Etanol*. Nicaragua: Jica.
- Instituto ecuatoriano de normalización INEN. (1984). *NTE INEN 930: Petróleo crudo y sus derivados. Muestreo*. Quito.
- Instituto ecuatoriano de normalización INEN. (2000). *NTE INEN 2253: Derivados del petróleo. Naftas industriales. Requisitos*. Quito.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2006). *NTE INEN 2069: Productos derivados del petróleo. Jet fuel JP4. Requisitos*. Quito.
- Javeriana, P. U. (s.f.). *Ficha de seguridad Etanol*. Cali. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de <http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Etanol.pdf>
- Larrea, C. (2006). *Petróleo y estrategias de desarrollo en el Ecuador: 1972-2005*. Quito: FLACSO.
- Lluch Urpi, J. (2011). *Tecnología y margen de refino del petróleo*. Madrid: Díaz de Santos .
- Mantilla, J., Galeano, C., & Muñoz, A. (2016). Mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna en Colombia. *Mutis*, 41-53.

- Martínez, J. A. (2000). Determinación de aditivos oxigenados en gasolinas mexicanas por cromatografías de gases-espectrometría de masas. *Revista de la Sociedad Química de México*, 237-242.
- Pemex Refinación. (s.f.). *Diccionario de términos de Pemex Refinación*.
- Peña Santamaría, A. B., & Céspedes Galeano, J. M. (2007). *Fisicoquímica. Manual de laboratorio*. Colombia: Sello.
- Petroamazonas. (28 de 06 de 2017). Recuperado el 18 de 04 de 2018, de <http://www.petroamazonas.gob.ec/la-institucion/>
- Región de Murcia . (s.f.). *Hoja de vida propanol*.
- Sánchez Minero, F., Ramirez Jimenez, E., Silva Oliver, G., & Hernandez Castillejos, B. (2013). Predicción de propiedades de mezclas gasolina-etanol mediante espectroscopia de infrarrojo. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 23-30.
- Satter, A., & Iqbal, G. (2016). *Reservoir engineering. The fundamentals, simulation and management of conventional and unconventional recoveries*. Elsevier.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos*. Quito.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2015). *NTE INEN 935: Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos*. Quito.
- Sinche Arias , D. F. (2012). *Caracterización físico-química de naftas producidas en la refinería estatal de Esmeraldas*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Smallwood, I. M. (2002). *Solvent Recovery Handbook*. Canada: Blackwell Science.
Recuperado el 20 de 03 de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?id=GcjME0wiMVsC&pg=PA382&dq=butanol&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwin5ofOIPXAhWk6YMKHQg7DMYQ6AEILTAB#v=onepage&q=butanol&f=false>
- Torres , J., Molina , D., Pinto , C., & Rueda , F. (2002). Estudio de la mezcla de gasolina con 10 % de etanol anhidrido. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro*, 71-82.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita: **EVELYN ANABEL HERRERA JIMÉNEZ.**

En la ciudad de Latacunga, a los 28 días del mes de agosto del 2018.

Aprobado por:

Dr. Ph.D. Virginia Valbuena Silva

DIRECTORA DE PROYECTO

Dr. Ph.D. Roman Rodriguez Maecker

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo Checa

SECRETARIO ACADÉMICO

