

**EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE UNA NUEVA MEZCLA ENTRE LA
GASOLINA ACTUAL, JET FUEL A-1 Y BIOETANOL CUMPLIENDO LA
RESOLUCIÓN 40103 APLICANDO LA TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA
INFRARROJA FT-IR**

JAIME ANDRES PEDRAZA SAAVEDRA

DUVAN ANDRES QUINTERO RUBIO

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO DE PETROLEOS**

Director

**NELSON FERNANDEZ BARRERO
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BOGOTA D.C**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nelson Fernández
Firma del director

Camilo Andrés Guerrero
Firma del presidente Jurado

Stefania Betancur
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

DR. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSE LUIS MACIAS RODRIGUEZ

Decana de la Facultad de Ingeniería

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro director Nelson Fernández Ingeniero químico, quien con sus conocimientos y apoyo logró orientarnos durante el proceso de este proyecto para lograr los resultados esperados. Gracias por sus orientaciones.

También agradecemos a la universidad de América por brindarnos herramientas las cuales facilitaron nuestra formación como ingenieros y a los docentes que nos compartieron sus conocimientos de manera profesional e invaluable con toda la dedicación y paciencia que los caracteriza.

Por último, queremos agradecer a todos nuestros compañeros y familiares por apoyarnos en todo momento a lo largo de nuestra formación en especial a nuestros padres que siempre han sido nuestros mejores guías de vida y no podemos dejar de agradecerles por su apoyo y constancia. Gracias por estar siempre allí.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	12
1.GENERALIDADES	13
1.1 Producción de alcohol en Colombia (bioetanol)	14
1.2 Alcoholes	15
1.3 Bioetanol	16
1.4 Jet Fuel	17
1.5 Jet A1	17
1.6 Composición de la gasolina	19
1.7 Requisitos en la calidad de la gasolina	20
1.8 Norma ASTM	23
1.8.1 <i>Norma ASTM D2700-19</i>	23
1.8.2 <i>Norma ASTM D2699-19</i>	24
1.8.3 <i>Norma ASTM E1252-92</i>	25
1.9 Método alternativo	25
1.9.1 <i>Espectroscopia infrarroja</i>	25
1.9.2 <i>Predicción rápida del índice de octano</i>	26
2. METODOLOGÍA	27
2.1 Prueba aplicada	27
2.2 Mezclas generadas	29
2.3 Prueba de laboratorio	33
2.4 Resultados obtenidos	34
2.4.1 <i>Resultado de la prueba FTIR 1</i>	35
2.4.2 <i>Resultado de la prueba FTIR 2</i>	36
2.4.3 <i>Resultado de la prueba FTIR 3</i>	37
2.5 Aditivos mejoradores de octanaje en el mercado	39
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	41

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA	45
4.1 Ingreso al productor	45
4.2 Impuesto territorial	45
4.3 Impuesto nacional	46
4.4 Biocombustibles	46
4.5 Margen de distribución	46
4.6 Transporte	47
4.7 Marco legal y regulatorio de los precios de la gasolina	47
4.8 Precios de la gasolina e inflación	47
4.9 Combustible de aviación en el mercado	48
5. PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA NUEVA MEZCLA	52
5.1 Costo final	54
6.CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXOS	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Demanda nacional de alcohol carburante(etanol)	14
Figura 2. Combustible Jet Fuel A-1	28
Figura 3. Bioetanol	29
Figura 4. Mezcla FT-IR 1	30
Figura 5. Mezcla FT-IR 2	31
Figura 6. Mezcla FT-IR 3	32
Figura 7. Gráfica 1 del análisis de la mezcla FT-IR 1	36
Figura 8. Gráfica 2 del análisis de la mezcla FT-IR 2	37
Figura 9. Gráfica 3 del análisis de la mezcla FT-IR 3	39
Figura 10. Gráfica de relación de compresión	42
Figura 11. Gráfica de número de octanos vs altitud en metros	43
Figura 12. Precios gasolina de avión en pesos colombianos por galón	50
Figura 13. Precio del alcohol carburante (Etanol)	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones del Jet A1 en varios países del mundo	18
Tabla 2. Requisitos de calidad de las gasolinas básicas	21
Tabla 3. Requisitos de calidad de las gasolinas oxigenadas con etanol anhidro	22
Tabla 4. Concentraciones de la mezcla FT-IR 1	30
Tabla 5. Concentraciones de la mezcla FT-IR 2	31
Tabla 6. Concentraciones de la mezcla FT-IR 3	32
Tabla 7. Composición química y caracterización física análisis infrarrojo	33
Tabla 8. Normas utilizadas en cada una de las muestras.	34
Tabla 9. Precio promedio por ciudad de los combustibles en Colombia	49
Tabla 10. Concentraciones de cada componente en mezcla final	53
Tabla 11. Precio final de la mezcla	54

RESUMEN

Para este proyecto de investigación se tiene una propuesta de combustible utilizado en vehículos de combustión interna tipo gasolina optimizado en calidad y precio, teniendo en cuenta que en el mercado de combustibles de Colombia se ofrecen solo dos tipos de combustibles, la gasolina corriente tipo normal que ofrece mínimo 81 octanos según la resolución 40103 del ministerio de minas y energía. Para el caso de la gasolina tipo extra permite un mínimo de 91 octanos que son verificados mediante en método de ensayo ASTM D2699-19 y ASTM D2700-19, además de las pruebas permitidas por el ministerio de minas y energía en las cuales se utiliza un mono cilindro para verificar el IAD también aclara el uso alternativo de la técnica de espectroscopia infrarroja ft-ir para la determinación de dicho índice antidetonante.

La nueva mezcla hecha en Colombia que parte de gasolina de avión Jet A1, Bioetanol y gasolina corriente ofrecida en las estaciones de servicio, con base a diferentes tipos de concentraciones en cada uno de las sustancias con el fin de obtener un combustible final con mejor rendimiento respecto a la capacidad antidetonante, se tomará como referencia exactamente combustible de la ciudad de Bogotá con el fin de poder analizar el comportamiento del combustible en variación a la altura debido que Bogotá tiene una altura sobre el nivel del mar de 2640 metros.

Las pruebas de laboratorio de cada una de las mezclas se realizan en las instalaciones de M&G SAS bajo la técnica de infrarrojo.

PALABRAS CLAVE: Índice Antidetonante, ASTM, Jet A1, Biocombustible, Espectroscopia infrarroja, Gasolina, R.O.N.

INTRODUCCIÓN

La investigación propuesta busca evidenciar que la calidad de la gasolina actual en Colombia se produce de baja calidad comparada con estándares internacionales esto según el análisis de impacto normativo de la norma nacional de calidad de combustibles, así mismo busca demostrar que la creación de la nueva mezcla entre la gasolina actual, jet fuel a-1 y bioetanol podrá ser a futuro una alternativa importante para el consumo de combustibles en el país.

En la actualidad Colombia cuenta con dos opciones de combustibles respecto al tipo de gasolina para vehículos a combustión interna tipo chispa-pistón, la de RON 84 conocida como gasolina corriente y la de RON 94 llamada gasolina extra, observando una diferencia entre una y otra de 10 unidades de octanos, por tal razón se proyecta en el actual trabajo una mezcla con calidad intermedia basado en la elevación de octanaje y efectividad con la adición de gasolina Jet A1 de 100 octanos utilizada en aviones, y el uso de un oxigenante llamado bioetanol producido en territorio nacional y ya utilizado en actuales combustibles pero en este caso en diferentes proporciones ya establecidas.

Para analizar esta nueva mezcla y poder determinar su calidad y la de la gasolina actual se basará a partir de la predicción del número de octano aplicando la técnica de espectroscopia infrarroja cuya metodología se realiza en un laboratorio siguiendo el mismo procedimiento para cada una de las muestras que se estudiaran durante la elaboración de este proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar técnica y económicamente una nueva mezcla entre la gasolina actual, jet fuel a-1 y bioetanol cumpliendo la resolución 40103 aplicando la técnica de espectroscopia infrarroja ft-ir.

Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad de la gasolina actual mediante la técnica de espectroscopia infrarroja basándose en la normatividad técnica colombiana (NTC 1380:2015)
- Generar distintos escenarios de la nueva mezcla variando las proporciones de gasolina corriente, gasolina de avión jet fuel A-1 y bioetanol.
- Evaluar la calidad de cada una de las mezclas generadas mediante la técnica de espectroscopia infrarroja basándose en la normatividad técnica colombiana (NTC 1380:2015) comparándolas con las pruebas realizadas en la gasolina actual.
- Evaluar económicamente los resultados de laboratorio con los datos de mercados (beneficio-costos) para la selección de la mejor alternativa en base a los beneficios de ésta.

1. GENERALIDADES

Durante el transcurso de los años en Colombia se ha podido observar como la calidad de combustibles no ha ido aumentando ni como el gobierno exige a productores y refinerías un aumento en la calidad los parámetros de dichos combustibles, el ministerio de minas y energías encargados de vigilar y establecer los parámetros y requisitos mínimos para la calidad del combustible (DIESEL), los biocombustibles para el uso en motores de encendido por compresión como componentes de mezcla en procesos de combustión, y de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro, combustible para uso en motores de encendido por chispa, adopta disposiciones por medio de resoluciones que dan espacio a la reducción de azufre, reducción en el compuesto de aromáticos y poliaromáticos, el control de la temperatura T 95, aumento en el número de cetano, reducción en las emisiones contaminantes al aire generado por los motores pero no aumentan de manera significativa y progresiva la calidad del índice antidetonante, siendo uno de los parámetros más importantes al momento de comprobar la efectividad del combustible.

Teniendo la industria automotriz como una de las principales y más grandes presentes en Colombia, tienen a disposición vehículos con un nivel alto de desarrollo y tecnología en términos de consumo y eficiencia que están a la par de estándares internacionales y que llevan al uso de combustibles en estos de buena calidad para garantizar el óptimo funcionamiento de dichos vehículos, cada uno de los fabricantes manejan parámetros mínimos con respecto al número RON del combustible a utilizar que no se puede cumplir debido a la poca variedad de tipos de combustibles presentes.

Sin embargo muchos otros factores influyen en la calidad del combustible como lo son la temperatura, la presión o altura a la que se encuentra el motor que utilice tal combustible, con respecto al nivel del mar en el que se encuentre dicho combustible más oxígeno existirá para una buena combustión, en cambio a niveles por encima de los 2000 metros sobre el nivel mar es poca la oxigenación que se puede y se podrá compensar con la adición de alcohol carburante(etanol) que aumenta la oxigenación de combustibles

1.1 Producción de alcohol carburante en Colombia(bioetanol)

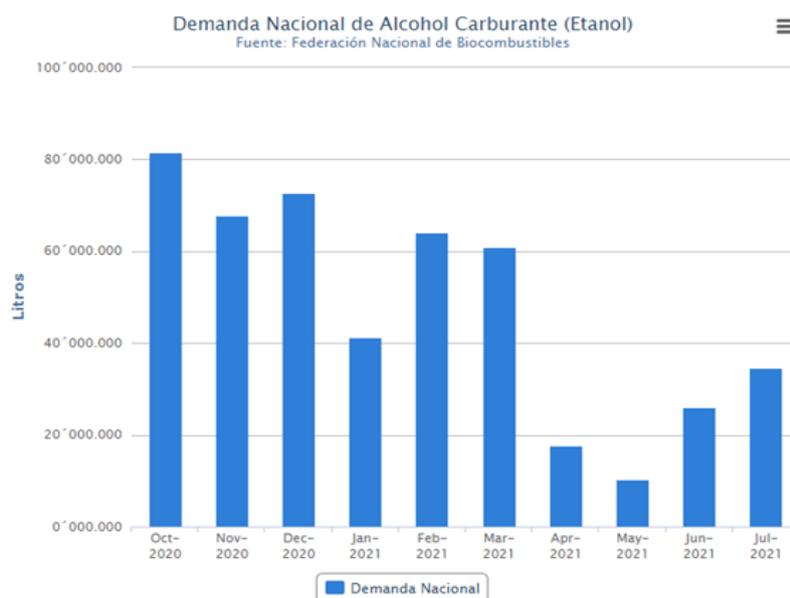
El etanol es un compuesto inflamable que no tiene color y su olor es similar a los alcoholes. Dicho alcohol carburante o etanol se produce a partir de cultivos de yuca, papa, remolacha entre otros, estos contienen carbohidratos que se fermentan para luego transformarse en alcohol.

Para el año 2001, en Colombia se estableció mediante la ley 693 que para el 2005 las ciudades con más de mil habitantes deben utilizar gasolina con un 8% de bioetanol, para inicialmente reducir los gases contaminantes que emiten los vehículos, generar trabajo en el campo y por ende mejorar la calidad de los combustibles.

Para el 2021 la producción de etanol ha aumentado cubriendo la demanda nacional sin interrupción. A continuación, se muestra la demanda nacional de Alcohol Carburante (Etanol)

Figura 1.

Demanda nacional de alcohol carburante(etanol)



Nota. Consumo de alcohol carburante durante 2020 y 2021. Tomado de: Federación de Biocombustibles de Colombia. [En Línea] [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm) [Acceso:23 de septiembre de 2021]

1.2 Alcoholes

Los alcoholes han sido utilizados como combustibles gracias a sus propiedades, entre los principales alcoholes alifáticos se encuentran el metanol, etanol, propanol y el butanol y se usan como combustible esto porque se pueden sintetizar química o biológicamente, y sus características permiten ser utilizados en motores de combustión interna.

En el caso del metanol se produce a partir de gas natural, pero también se puede producir a partir de biomasa utilizando procesos químicos. Para el Etanol que se usa en este proyecto se produce de material biológico a través de procesos de fermentación, en cuanto al biobutanol se tiene la gran ventaja que su densidad de energía es más cercana a la de la gasolina que los alcoholes más simples (que a su vez retiene un índice de octano más alto del 25%), sin embargo es más complicado producir biobutanol que el mismo etanol o metanol, se conocen como bioalcoholes o bioetanol porque se está obteniendo de materiales biológicos y procesos biológicos, no existe diferencia química entre los producidos de manera biológica o los producidos de manera química

Una de las ventajas que comparten los cuatro combustibles alcohólicos mencionados anteriormente es su alto índice de octanos, una propiedad clave al momento de medir su eficiencia y poder calorífico, además compensa en cierta medida la densidad de energía de los combustibles para vehículos comparándolos con el combustible de gasolina y Diesel, que a su vez da una economía en combustible en términos de distancia por volumen, como kilómetros recorridos por galón.

El etanol se suele producir de la fermentación de azúcares, y las enzimas se pueden utilizar en lugar de la fermentación, el metanol es como tal la molécula más simple y el etanol se hace a partir del metanol, también se puede producir de manera industrial partiendo de cualquier biomasa como desechos animales, o a partir de dióxido de carbono y agua o vapor, primero convirtiendo la biomasa en gas de síntesis en un gasificador, o producirse en laboratorios mediante electrólisis o enzimas.

Tanto el metanol como etanol tienen ventajas y desventajas sobre los combustibles como la gasolina, en los motores de encendido por chispa es decir que tienen en su sistema bujías de ignición ambos alcoholes funcionan a velocidades de recirculación de gases de escape mucho más altas y con relaciones de compresión más altas. En cuanto a valores de octanaje de cada uno de los alcoholes tenemos para el etanol 109 RON (Número de octano de investigación), 90 MON (Número de octano del motor) y para el metanol 109 RON y 89 MON con un valor promedio 99 AKI que es el valor de índice Anti-Knock que es el promedio de la RON y MON ($(RON+MON)/2$), indicativo que se utiliza en las estaciones de servicio para informar al cliente la calidad de combustible que está adquiriendo, en Europa la gasolina de más baja calidad tiene 95 RON, 85 MON igual a 90 AKI. Las concentraciones de alcoholes mejoran a más del 5% el encendido de dicho combustible, pero este valor también depende directamente del porcentaje de alcohol presente.[1]

1.3 Bioetanol

El bioetanol suele utilizarse para la producción de biocombustibles de gran poder energético cuyas características son muy parecidas a las de la gasolina lo cual implica una reducción en la emisión de contaminantes en los motores de combustión.

Este biocombustible se produce a partir de la fermentación de productos agrícolas como el trigo, remolacha, caña de azúcar, entre otros igualmente es utilizado como sustituto de la gasolina y puede ser mezclado con esta en concentraciones del 5 al 15% para la producción de nuevos combustibles que operan en los motores actuales sin necesidad de alguna modificación por dicho motivo se han popularizado en el mercado.[2]

El bioetanol puede utilizarse para todos los procesos que necesiten combustiones existentes, siempre que todos los componentes estén ajustados a ello como por ejemplo motores específicos o para calefacción. Este biocombustible es una fuente de energía renovable y por lo tanto inagotable además emite entre un 40% y 80% menos de gases que producen el efecto invernadero que los que emiten los combustibles fósiles sin embargo su costo de producción es más alto que el de la gasolina y tiene una sostenibilidad controvertible teniendo en cuenta que para su producción se necesitan combustibles fósiles.

Las mezclas de bioetanol con gasolina se pueden determinar con la letra E y la cantidad de etanol que posea la mezcla en el porcentaje respectivo, actualmente en Colombia se tiene la mezcla E8 en el centro-oriente del país y en el occidente se tiene E10 con excepción en la zona de frontera con Venezuela que es de donde llegan los combustibles fósiles en condiciones especiales de precios. Una mezcla de E10 (10%etanol y 90% de gasolina) es suficiente para poder reducir entre el 12 y el 19% de gases efecto invernadero además un 30% de emisión de CO2 y un 50% de emisiones de sustancias orgánicas volátiles que producen el smog.

El ministerio de Minas y Energía es el ente regulador del sector determinado por ley y es el que fija los porcentajes de mezcla, el precio de estos tipos de combustibles según las fórmulas ya establecidas por resolución también se tiene en cuenta el costo de la materia prima, los recursos utilizados para producirlos y los insumos.[3]

1.4 Jet Fuel

El Jet Fuel hace referencia a los combustibles utilizados por aviones, y se refiere a manera general de todos los tipos de combustible utilizados. Contrario a lo que sucede con la gasolina y el Diesel las especificaciones de calidad de los combustibles de avión son prácticamente las mismas en todos los países del mundo y debe ser universal para las necesidades de los aviones.

Entre las principales especificaciones del combustible de avión están el contenido de azufre, punto de congelación, punto de humo y poder calorífico. [4]

1.5 Jet A1

Este tipo de combustible con alto contenido energético y con alta capacidad de combustión se utiliza en transporte aéreo principalmente en aviones con motores de turbina, en esta mezcla de hidrocarburos sobresale la cantidad de parafinas y compuestos nafténicos, así como su elevado número antidetonante.

Tabla 1.

Especificaciones del Jet A1 en varios países del mundo

PAIS	USA	Reino Unido	Rusia	Mexico	Colombia	Peru	Uruguay
Nombre especificación	ASTM D1655	Def Stan 91-91	GOST R 52050	NOM-016-CRE	NTC 1899		AFQRIOS
año	2015	2013	2012	2016	2015		2016
	Jet A/Jet A1	AVTUR Kerosen	JET A1	JET A1	JET A1		JET A1
Especificación							
Azufre, ppm, max	3000	3000	2500	3000	0,3 g/100 g		0,3 g/100 g
Azufre mercaptano, % masa, r	0,003	0,003	0,003	30 mg/kg	0,003		0,003
Prueba "Doctor"	Dulce	Negativo	Negativo				Negativo
Densidad @ 15 °C, min-max	775-840	775-840	775-840	772 - 830	775-840	775-840	775-840
Viscosidad @ 20 °C, cST, max	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0		
Destilación							
Punto Inicial de ebullición, °C, min-max		Reportar				Reportar	Reportar
T10 °C, max	205	205	205	205	205	205	206
T50 °C, max	Reportar	Reportar			Reportar	Reportar	Reportar
T90 °C, max	Reportar	Reportar	300	300	Reportar	Reportar	Reportar
Punto Final de ebullición, °C,	300	300			300	300	300
Residuo destilación, % vol, m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Pérdidas en la destilación, % v	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Punto de inflamación, °C, min	38	38	38	38	38	38	38
Acidez total, mg KOH/g, max	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1		0,15
Aromáticos, % vol max	25	25	25	25	25	25	25
Total de aromáticos, % vol, m	26,5	26,5				26,5	26,5
Punto de congelación, °C, max	-40 / -47	-47	-47	-47	-47	-47	-47
Punto de humo, mm, min	25	25	25	25	25	25	25
Naftalenos, % vol, max	3,0	3,0		3,0	3,0	3,0	3,0
Poder Calorífico, MJ/kg, min	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8
Estabilidad Térmica @ 260 °C,	25	25	25	25	25	25	25
Caída de presión en el filtro, kPa, max				3,3	3,3	3,3	3,3
Depósitos en el tubo, visual, r	3	3	3	3	< 3	3	3
Gomas existentes, mg/ 100 m	7	7	7 mg/100 cm ³	7	7	7	7
Partículas contaminantes, mg/l, max		1,0	1,0	0,8	0,8		
Indice de separación de agua, MSEP, rating, min	85	85	85	85	85	85	85
Conductividad, pS/m, min-ma	50-600	50-600	50-600				50-600
Lubricidad, mm, max	23 mg/l	0,85	0,85				0,85
FAME, mg/kg, max	50	50		50	50		
Inhibidor antioxidante, mg/l, max				24	24		17 - 24
Corrosion lámina de cobre					1	1	
Reacción al agua, clasificación					1b		
Apariencia					Claro y brillante	Claro y brillante	

Nota. Características y propiedades del combustible de avión Jet A1. Tomado de: Circular de características. [En Línea]

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/d0751cec9e5497ba05258250007bb98c/\\$FILE/Circular019-2018%20Anexo-1.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/d0751cec9e5497ba05258250007bb98c/$FILE/Circular019-2018%20Anexo-1.pdf). [Acceso: 28 de septiembre de 2021].

En un estudio de las características químicas y propiedades fisicoquímicas del Jet A1 mediante la metodología de cromatografía de gases unida a espectrometría determinó la composición inicialmente de 5 familias de hidrocarburos como son las parafinas, ciclo parafinas (nafténicos), aromáticos, derivados del naftaleno y derivados de la tetralina y del indano. [5]

En cuanto al valor del índice antidetonante llega a tener valores de 100 o encima de este siendo uno de los combustibles más eficientes del mercado capaz de hacer combustión a 38°C y con un punto de congelación a los -47°C, en ocasiones este combustible suele ser utilizado en vehículos de competición o alto desempeño que tienen alto rango en el valor de compresión de motor, es decir mayor a 12:1.

1.6 Composición de la gasolina

Este tipo de combustible se adquiere de la transformación del petróleo crudo en productos terminados esto sucede en grandes plantas llamadas refinerías.

Estas transformaciones se efectúan a través de diferentes procesos determinados que son: la destilación, mejoramientos, craqueo y mezcla de productos, especialmente la mezcla de productos se basa en mezclar los flujos de refinación en diferentes proporciones para poder así obtener los combustibles que se conocen como la gasolina, jet, Diesel, etc.

Las gasolinas están compuestas por una gran variedad de compuestos que estructuralmente se dividen en cuatro principales grupos que son: parafinas, ciclo parafinas, aromáticos y olefinas. Esta también puede estar compuesta de varias sustancias oxigenadas como alcoholes, éteres y diferentes aditivos con diferentes funciones como incrementar el octanaje y mejorar la combustión.

Actualmente en el caso de Colombia la gasolina de menor octanaje se llama gasolina corriente y esta debe tener como mínimo un índice antidetonante de 81 y la gasolina con mayor octanaje se denomina gasolina extra que debe tener un índice antidetonante mínimo de 87 según la norma técnica colombiana.[6]

1.7 Requisitos en la calidad de la gasolina

Existe una resolución establecida por el ministerio de minas y energía y ministerio de ambiente y desarrollo sostenibles conocida específicamente por el número 40103 expedida el 7 de abril del 2021 la cual tiene por objeto fijar los parámetros y requisitos de calidad de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro combustible desnaturalizado las cuales son usadas en motores de encendido por compresión y chispa, esta resolución es aplicada en todo el territorio colombiano a los productores nacionales, importadores, distribuidores mayoristas, refinadores y demás agentes de la cadena de distribución que produzcan distribuyan o importa dichas gasolinas y combustibles.

Las gasolinas deberán cumplir los requisitos de calidad que se disponen en las siguientes tablas.

Tabla 2

Requisitos de calidad de las gasolinas básicas

#	PARÁMETRO			UNIDADES	LÍMITES		MÉTODOS DE ENSAYO
					Mínimo	Máximo	
1	Índice Antidetonante IAD (1)	Gasolina corriente		Adimensional	81		ASTM D2699 - 19 y ASTM D 2700 -19 (2)
		Gasolina extra		Adimensional	91		
	RON	Gasolina corriente	Hasta el 30 de diciembre de 2029	Adimensional	84		
			A partir del 31 de diciembre de 2029		88		
	Gasolina extra		Adimensional	93			
2	Plomo (3)			g/L		0,013	ASTM D3237-17 ó ASTM D5059-20
3	Aromáticos	Gasolina corriente	Hasta el 30 de diciembre de 2029	% (V/V)		28	ASTM D5580-15 ó D1319-20 ó
			A partir del 31 de diciembre de 2029 (4)			35	ASTM D 6729-20 ó ASTM D6730-19
		Gasolina extra		% (V/V)		35	
4	Benceno	Gasolina corriente		% (V/V)		1	ASTM D5580-15 ó ASTM D3606-20 ó ASTM D6729-20 ó ASTM D6730-19
		Gasolina extra		% (V/V)		2	
5	Azufre	Hasta el 30 de diciembre de 2020		mg/kg ó ppm		300	ASTM D4294-16, ASTM D2622-16, ASTM D5453-19, ASTM D3120-08, ASTM D1266-18, ASTM D6920-13 ó, ASTM D7039-15.
		A partir del 31 de diciembre de 2020				100	
		A partir del 31 de diciembre de 2021				50	
		A partir del 31 de diciembre de 2029				10	
6	Corrosión al Cobre, 3h a 50°C			Clase		1	ASTM D130-19
7	Contenido de Gomas (lavables)			mg/100 MI		5	ASTM D381-19
8	Estabilidad a la Oxidación			Minutos	240		ASTM D525-12
9	Destilación	10% vol. Evaporado		°C		70	ASTM D86-20. Alternos: ASTM D7345-17 y ASTM D7096-19
		50% vol. Evaporado		°C	77	121	
		90% vol. Evaporado		°C		190	
		Punto Final Ebullición		°C		225	
10	Contenido de Aditivos			mg/l		(5)	
11	Presión de Vapor Reid, a 37,8 °C			KPa		55	ASTM D4953-20 ó ASTM D5191-20 ó ASTM D323-20

Nota. Parámetros reglamentarios del combustible en Colombia. Tomado de: Resolución 40103. [En Línea].

<https://www.minenergia.gov.co/normatividad?idNorma=48882>. [Acceso:29 de septiembre de 2021]

Tabla 3.

Requisitos de calidad de las gasolinas oxigenadas con etanol anhidro combustible para uso en motores de encendido por chispa.

Tabla 2A
Requisitos de calidad de las gasolinas básicas

#	PARÁMETRO			UNIDADES	LÍMITES		MÉTODOS DE ENSAYO
					Mínimo	Máximo	
1	Índice Antidetonante IAD (1)	Gasolina corriente		Adimensional	81		ASTM D2699 - 19 y ASTM D 2700 - 19 (2)
		Gasolina extra		Adimensional	91		
	RON	Gasolina corriente	Hasta el 30 de diciembre de 2029	Adimensional	84		
			A partir del 31 de diciembre de 2029		88		
Gasolina extra		Adimensional	93				
2	Plomo (3)			g/L		0,013	ASTM D3237-17 ó ASTM D5059-20
3	Aromáticos	Gasolina corriente	Hasta el 30 de diciembre de 2029	% (V/V)		28	ASTM D5580-15 ó D1319-20 ó
			A partir del 31 de diciembre de 2029 (4)			35	ASTM D 6729-20 ó ASTM D6730-19
		Gasolina extra		% (V/V)		35	
4	Benceno	Gasolina corriente		% (V/V)		1	ASTM D5580-15 ó ASTM D3606-20 ó ASTM D6729-20 ó ASTM D6730-19
		Gasolina extra		% (V/V)		2	
5	Azufre	Hasta el 30 de diciembre de 2020		mg/kg ó ppm		300	ASTM D4294-16, ASTM D2622-16, ASTM D5453-19, ASTM D3120-08, ASTM D1266-18, ASTM D6920-13 ó, ASTM D7039-15.
		A partir del 31 de diciembre de 2020			100		
		A partir del 31 de diciembre de 2021			50		
		A partir del 31 de diciembre de 2029			10		
6	Corrosión al Cobre, 3h a 50°C			Clase		1	ASTM D130-19
7	Contenido de Gomas (lavables)			mg/100 ml		5	ASTM D381-19
8	Estabilidad a la Oxidación			Minutos	240		ASTM D525-12
9	Destilación	10% vol. Evaporado		°C		70	ASTM D86-20. Alternos: ASTM D7345-17 y ASTM D7096-19
		50% vol. Evaporado		°C	77	121	
		90% vol. Evaporado		°C		190	
		Punto Final Ebullición		°C		225	
10	Contenido de Aditivos			mg/l		(5)	
11	Presión de Vapor Reid, a 37,8 °C			KPa		55	ASTM D4953-20 ó ASTM D5191-20 ó ASTM D323-20

Nota. Parámetros reglamentarios del combustible en Colombia. Tomado de: Resolución 40103. [En Línea].

<https://www.minenergia.gov.co/normatividad?idNorma=48882>. [Acceso:29 de septiembre de 2021].

La resolución 40103 indica que el octanaje se determinará en términos del parámetro RON y también explica que el método de infrarrojo FT-IR el cual es el tema muy importante para la elaboración de este proyecto, una vez se vaya a emplear este método para el agente refinador y los demás agentes de la cadena se deberá realizar un modelo de calibración alimentada con valores de gasolinas reales y actuales tomando como referencia los métodos de la norma ASTM D2699-19 y ASTM D2700-19 con el objetivo de asegurar la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos por esta prueba la cual se aplicará en las diferentes mezclas generadas en la elaboración de este trabajo de investigación, esta prueba se realiza mediante el dispositivo llamado espectrómetro el cual mide las longitudes de onda e intensidades esto con el fin de realizar una correlación del espectro de la mezcla generada y el de la gasolina corriente para poder así determinar el índice antidetonante de estos combustibles.

1.8 Norma ASTM

La norma ASTM internacional se utiliza para investigaciones y proyectos que miden la calidad de productos como metales, plásticos, textiles, petróleo, construcción entre otros para finalmente poder ser aceptados.

Actualmente son utilizadas en todo el mundo y son reconocidas como las mejores en su campo tanto así que 5000 de ellas son utilizadas por fuera de los Estados Unidos. En total son más de 13000 normas establecidas que han sido compiladas en libros y páginas web para el fácil acceso a ellas.[7]

1.8.1 Norma ASTM D2700-19

El método que se realiza en esta prueba de laboratorio abarca la determinación cuantitativa de la clasificación antidetonante de los combustibles líquidos que son utilizados para motores de encendido por chispa en términos de número de octano incluyendo los combustibles que puedan contener hasta 25% v/v de etanol.

Los combustibles que se comercializan típicamente producidos para motores automotrices de encendido por chispa se pueden clasificar en el rango de 80 a 90

número de octano, en cambio los combustibles que son producidos para motores de aviación de encendido por chispa se clasifican en el rango de 98 a 102 de número octano. Las pruebas que se realizan a los componentes de mezcla de gasolinas u otros materiales del flujo de proceso pueden producir índices en varios niveles a través de la clasificación en el rango de números de octano como se esperaba en la realización de este proyecto al realizar tres nuevas mezclas de gasolina variando la composición y proporción de sus componentes.

1.8.2 Norma ASTM D2699-19

Este método de prueba estándar para número de octano de investigación de combustibles para motores de ignición por chispa permite determinar de manera cuantitativa la clasificación de pistoneo de combustible líquido en motores de ignición por chispa en relación al número de octano (R.O.N), esta prueba se puede llevar a cabo en combustibles con concentraciones hasta de 25% v/v de etanol.

Esta prueba se realiza con un motor CFR de un cilindro estandarizado con carburador de cuatro tiempos, que tiene relación de compresión variable que funciona con unas condiciones definidas de operación.

El número de octano (R.O.N) es definida por la composición volumétrica de la mezcla, se mide la intensidad de pistoneo del combustible para luego hacer una comparación con otros combustibles y verificar que coincida con la velocidad de pistoneo de alguno de ellos.

La escala del número de octano o capacidad antidetonante va de 0 a 120 pero con esta prueba podemos obtener el valor R.O.N de 40 a 120, teniendo en cuenta que los combustibles tienen número de octano con valores entre 83 y 101.[8]

1.8.3 Norma ASTM E1252-98

Este método de ensayo cubre el rango espectral de 4000 a 50 cm^{-1} y también incluye técnicas que son apropiadas para el análisis cualitativo de muestras en fase sólida, vapor y líquida como en el caso en el que se basa este proyecto, mediante técnicas espectro métricas infrarrojas para las cuales la cantidad de muestra disponible para el análisis no es un factor limitante.

Este método es útil para registrar espectros en frecuencias superiores a 4000 cm^{-1} en la región del infrarrojo cercano además esta práctica describe métodos para la aplicación adecuada de la espectroscopia infrarroja.[9]

1.9 Método alternativo

El ministerio de minas y energía aclara en la resolución 40103 que como método de verificación para el IAD de combustibles alternos a los ya establecidos de ASTM se permite la técnica de Infrarrojo IR pero que el modelo de calibración sólo debe ser alimentada con gasolinas colombianas reales y actuales y tomando como referencia los métodos ASTM anteriormente mencionados para asegurar la confiabilidad y validez de los resultados.

1.9.1 Espectroscopia infrarroja

En la actualidad se pueden construir modelos para predecir el número octano de la gasolina y los combustibles similares a esta, estos modelos predicen el octanaje a partir de sustancias puras y mezclas de estas sustancias que representan los grupos funcionales existentes en la gasolina.

La técnica de espectroscopia infrarroja FT-IR se usa para predecir el número de octano y otras propiedades de los combustibles a partir del espectro de las muestras de estas gasolinas, estos espectros se producen mediante la técnica espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en la cual existe un haz infrarrojo que refleja la muestra, dicha técnica utiliza la absorción de parte de la energía del haz infrarrojo para poder así hacer una medida predictiva de la composición de la muestra, esta

absorción se mide como una función de longitud de onda (como números de onda, particularmente de 4000-600 cm^{-1}). El resultado es un espectro IR de reflexión que funciona como una huella molecular que sirve para identificar muestras inorgánicas y orgánicas de los grupos funcionales de la gasolina por lo cual es posible realizar una identificación de los materiales de estos grupos.[10]

Las ondas infrarrojas que atraviesan las muestras de las nuevas mezclas realizadas en este proyecto son absorbidas por cada compuesto presente en dichas muestras, los compuestos con grupos funcionales similares logran absorber longitudes de onda semejantes y formar picos que se sobreponen unos con otros en picos más grandes obtenidos del espectro infrarrojo.

1.9.2 Predicción rápida del índice de octano

Se puede realizar una predicción de índice de octano utilizando una cámara de volumen constante puesto que el método actualmente utilizado es un método anticuado, complejo y de alto costo sin embargo otros investigadores han desarrollado recientemente métodos para correlacionar las propiedades que poseen las mezclas de combustible de rango de gasolina como lo son el RON, MON y OI.

Hay muchos investigadores que utilizan técnicas para evaluar la calidad del combustible a partir compuestos y mezclas de gasolinas las cuales brindan una correlación en el enfoque tradicional de caracterización de la calidad antidetonante del combustible de rango de gasolina en la actualidad a partir de síntesis o procesos catalíticos.

Las técnicas existentes de caracterización de la calidad del antidetonante del combustible de gasolina son basadas en motores de investigación de número de octano y número de octano del motor mediante las cuales se ajusta la relación de compresión en condiciones definidas en el motor mono cilíndrico con carburador en el cual el combustible se clasifica en función de su capacidad para soportar el calor y la presión dentro de este motor.

2. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto se seleccionó combustible básico obtenido en estaciones de servicio para analizar el comportamiento en el índice antidetonante de la mezcla mediante la adición en diferentes porcentajes de combustible de avión y un alcohol, a la espera de obtener un combustible de mejor calidad con un IAD mayor.

2.1 Prueba aplicada

Se inicia la evaluación de la prueba inicial de combustible comprada en una estación de servicio en la ciudad de Bogotá para caracterizar las condiciones a las que se encuentra dicho combustible mediante la prueba de infrarrojo, que en este caso dicho combustible de territorio colombiano se rige por unos parámetros establecidos en la resolución 40103 del año 2021.

Debido a los escasos laboratorios que usen el método ASTM 2699-19 se tomó como método de prueba a los combustibles el alternativo que consiste en el análisis cualitativo de las mezclas finales para determinar el aumento en la calidad, presencia de alcoholes, presencia de otros componentes del combustible y la variación mediante un estudio de ondas de infrarrojo, capaz de representar mediante una gráfica el comportamiento del combustible a la presencia de componentes en diferentes ondas y espectros.

El combustible de avión adquirido mediante el aeropuerto Camilo Daza en Cúcuta Norte de Santander es el utilizado en la prueba FTIR, dicho combustible está establecido a las características estándar de uso en aviones y cumple con la norma exigida por el ministerio de minas y energía para poder realizar el análisis final basado en los datos suministrados por la página oficial del ministerio.

Figura 2.

Combustible de aviación Jet A-1



Nota. Combustible Jet Fuel A-1.

Para la toma de porcentajes de cada uno de los componentes se hace mediante el análisis de comportamiento de cada uno de ellos hablando en términos de efectividad relacionados directamente con la capacidad calorífica de cada uno de ellos y teniendo en cuenta que en el caso del combustible de avión con tan alta eficiencia calorífica no se puede utilizar en más de 30% v/v porque puede afectar el funcionamiento en motores de ignición de chispa con relación de compresión menor a 10:1.

Se inició la evaluación de la prueba inicial de combustible comprada en una estación de servicio en la ciudad de Bogotá para caracterizar las condiciones a las que se encuentra dicho combustible mediante la prueba de infrarrojo, que en este caso dicho combustible de territorio colombiano se rige por unos parámetros establecidos en la resolución 40103 del año 2021.

Para este proyecto se tomó como referencia exactamente combustible de la ciudad de Bogotá con el fin de poder analizar el comportamiento del combustible en variación a la altura partiendo de que Bogotá tiene una altura sobre el nivel del mar de 2640 metros.

El bioetanol se obtuvo en la federación de biocombustibles, esta federación tiene varias plantas de producción de etanol alrededor de todo el país

Figura 3.

Bioetanol



Nota. Bioetanol.

2.2 Mezclas generadas

Se dispuso de 1 litro de cada uno de los combustibles y aditivos a utilizar para poder generar las nuevas mezclas con diferentes concentraciones.

En primer lugar, se generaron 3 tipos de mezclas diferentes en el laboratorio variando la composición entre ellas de sus principales componentes que son la gasolina actual, jet fuel A-1 y el bioetanol.

Las 3 mezclas generadas fueron las siguientes con sus respectivas concentraciones.

En la prueba FTIR 1 (*Figura 4*) se tomó 300 ml de gasolina corriente distribuida en las estaciones de servicio para conocer las características y el comportamiento que tenga frente a la prueba y su reacción a la presencia de alcohol, cadena de carbonos y otros componentes del hidrocarburo. El análisis infrarrojo nos da un resultado cualitativo ante la presencia de cada uno de esos componentes con el fin de determinar la calidad de dicho combustible.

Figura 4

Prueba de laboratorio 1



Nota. Mezcla FT-IR 1 tomada de laboratorios M&G SAS

Tabla 4.

Concentraciones FTIR-1

FT-IR 1		
Compuesto	Unidad de medida	
	%	ML
Jet Fuel A-1	0%	0ml
Bioetanol	0%	0ml
Gasolina Corriente	100%	300ml
Total	100%	300ml

Nota. Tabla de concentraciones de la mezcla FT-IR 1 representadas en mililitros y en su respectivo porcentaje.

Para la FTIR 2 (Figura 5) se realizó una mezcla 240 ml de gasolina corriente, 45 ml de gasolina de avión y 15 ml de bioetanol para un total de 300 ml, dichos valores para esta mezcla se tomaron de manera arbitraria con el fin de observar el comportamiento del combustible frente a presencia de alcohol, puesto que en el análisis infrarrojo la principal reacción se aprecia es con contenido de alcoholes, cabe mencionar que la ley dictamina un porcentaje máximo de este alcohol en combustibles y por tal razón no puede exceder el 25% v/v.

Figura 5.

Prueba FTIR-2



Nota. Mezcla FT-IR 2 tomada de laboratorios M&G SAS

Tabla 5.

Concentraciones FTIR-2

FT-IR 2		
Compuesto	Unidad de medida	
	%	ML
Jet Fuel A-1	15%	45ml
Bioetanol	5%	15ml
Gasolina Cor	80%	240ml
Total	100%	300ml

Nota. Tabla de concentraciones de la mezcla FT-IR 2 representadas en mililitros y en su respectivo porcentaje.

Para la última prueba denominada FTIR 3 (*Figura 6*) utilizamos las más altas concentraciones de cada sustancia como se observa en la *tabla 6* con el fin de mantener una proporción en cuanto una prueba a otra, y obtener un análisis más completo y preciso pudiendo tomar como referencia varios resultados.

Figura 6.

Prueba FTIR-3



Nota. Mezcla FT-IR 3 tomada de laboratorios M&G SAS

Tabla 6.

Concentraciones FTIR-3

FT-IR 3		
Compuesto	Unidad de medida	
	%	ML
Jet Fuel A-1	25%	75ml
Bioetanol	15%	45ml
Gasolina Cor	60%	180ml
Total	100%	300ml

Nota. Tabla de concentraciones de la mezcla FT-IR 3 representadas en mililitros y en su respectivo porcentaje.

2.3 Prueba de Laboratorio

Para determinar las características de las mezclas y una prueba de gasolina en estado normal puro directo de la estación de servicio se contrató el servicio de laboratorios M&G SAS en la ciudad de Bogotá que mediante prueba de infrarrojo determinó el comportamiento de cada gasolina y que entregaron el siguiente resultado de los cuales se realizó una comparación de estos resultados obtenidos en base a la calidad de cada una de las mezclas realizadas.

En primer lugar, el laboratorio determinó las especificaciones técnicas para cada una de las mezclas las cuales explican la composición química de cada una de estas con su respectiva caracterización física para el análisis de infrarrojo basándose en las normas ASTM, siendo así se realizó esta tabla con dichas caracterizaciones.

Tabla 7.

Caracterización de cada mezcla

Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-1	GASOLINA FTIR 1	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.
Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-2	GASOLINA FTIR 2	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.
Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-3	GASOLINA FTIR 3	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.

Nota. Tabla de la composición química y caracterización física análisis infrarrojo para cada una de las muestras.

En las pruebas realizadas la incertidumbre de ensayo no aplica debido a que es una evaluación cualitativa además las condiciones ambientales durante el ensayo fueron de 19.4°C y HR 57.3%

Por consiguiente, el laboratorio nos indicó que método de ensayo se realizó y con qué norma se utilizó la cual es explicada y determinada en la siguiente tabla.

Tabla 8.

ASTM utilizada en la prueba

METODOS DE ENSAYO ACREDITADOS POR ema	CÓDIGO (VERSIÓN)
Práctica normal de técnicas generales para obtener espectro infrarrojo para análisis cualitativo en materiales orgánicos e inorgánicos	ASTM E1252-98 (2013)

Nota. Normas utilizadas en cada una de las muestras.

2.4 Resultados Obtenidos

Una vez ya determinadas las características, especificaciones técnicas y normas a utilizar para cada una de las mezclas se realizó la prueba de infrarrojo para cada una de estas la cual se obtuvo como resultado una gráfica por cada una de las muestras.

Estas gráficas identifican las sustancias químicas o grupos funcionales del combustible utilizado en la prueba a partir de la radiación infrarroja por absorción o emisión de cada uno de los componentes de dicho combustible.

En las gráficas se puede observar cómo se puede visualizar un espectro de infrarrojo a partir de la absorbancia de luz infrarroja en el eje vertical frente a la frecuencia o longitud de onda en el eje horizontal. Las unidades que se utilizan en los espectros de infrarrojos son llamados números de onda con el símbolo de cm^{-1}

Debido a que las muestras fueron líquidas estas se intercalan entre dos placas de una sal que comúnmente se usa como en este caso el bromuro de potasio, estas placas son transparentes a la luz infrarroja para poder generar el espectro de absorbancia usando la transformada de Fourier la cual mide el rango de longitud de onda para luego generar un espectro de absorbancia o transmitancia.

Fueron tres gráficas obtenidas, una por cada muestra las cuales determinan los comportamientos de estos combustibles teniendo en cuenta los componentes y proporciones que contienen estas como por ejemplo el contenido de alcohol y

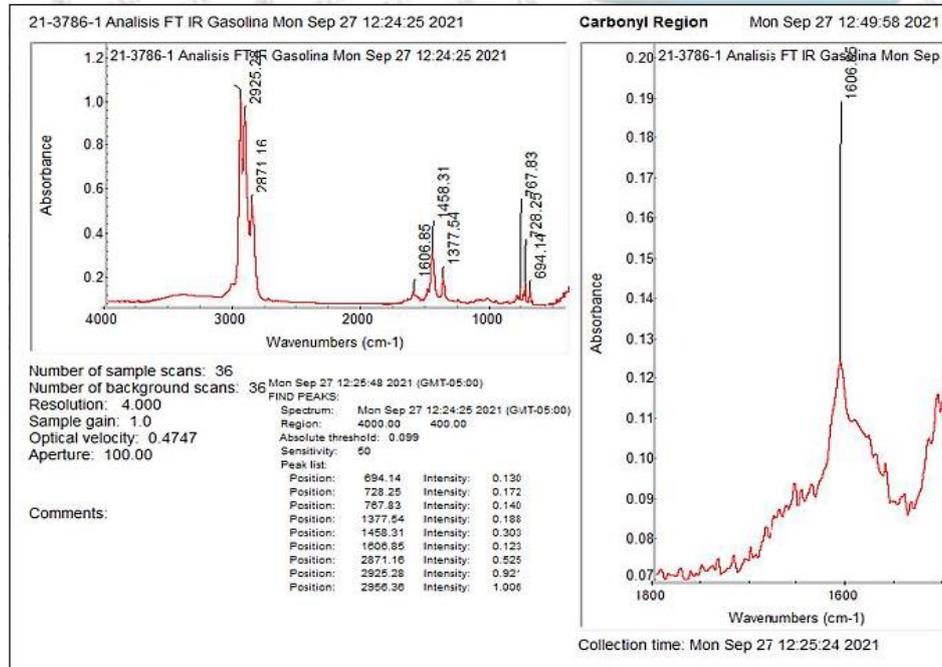
cualquier hidrocarburo que sea parte de estas mezclas, a continuación, se mostrará cada una de las gráficas.

2.4.1 Resultado de la Prueba FTIR 1

Para la siguiente tabla de análisis FT-IR 1 y comportamiento de este combustible reflejado en curva absorbancia vs número de onda en un intervalo de 1 a 4000 con 36 réplicas de escaneo y una apertura de 100 tenemos un comportamiento elevado para el lapso de 2800 a 3000 que da a entender que dicha sustancia tiene presencia de cadena de carbonos muy característico en los combustibles, y en los demás picos denota la presencia de otros componentes como parafínicos y aromáticos, para el lapso de 3000 a 4000 vemos valores bajos por la poca cantidad de alcohol, o poca presencia del mismo, cabe resaltar que son los alcoholes quienes le dan propiedades de oxigenación al combustible y a su vez una mayor eficiencia al momento de detonación en la cámara de combustión sea de vehículos o motores a gasolina de cualquier tipo de uso en la industria además de que estos oxigenantes ayudan a reducir el monóxido de carbono y el hollín que se crea durante la combustión de combustible, como dato más relevante se tiene que es con la presencia de este alcohol que el octanaje del combustible aumenta drásticamente, y es como vemos que en esta prueba la calidad del combustible es relativamente baja tomando como referencia un combustible con características superiores en otros países. De manera cuantitativa se puede decir que este combustible es un combustible de alrededor de 83 octanos, analizando a profundidad el comportamiento de la curva, y partiendo de la cantidad de alcohol presente y la gráfica de región de carbono.

Figura 7.

Grafica de análisis del FTIR-1



Nota. Gráfica 1 del análisis de la mezcla FT-IR 1 tomada de los resultados obtenidos por el laboratorio M&G SAS

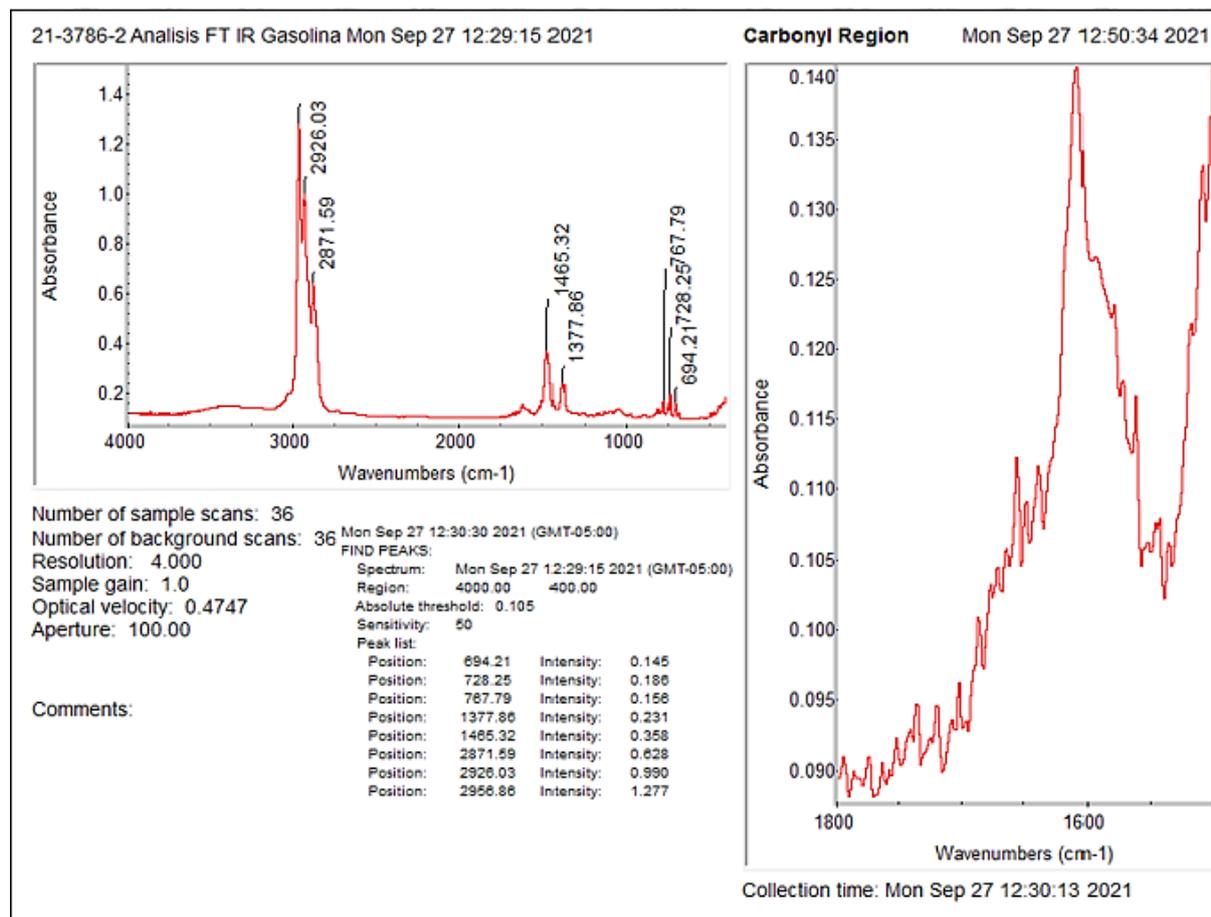
2.4.2 Resultado de la prueba FTIR-2

Para la interpretación de los resultados de la FTIR-2 al igual que los resultados obtenidos de la prueba FTIR 1 de este combustible reflejado en curva absorbancia vs número de onda en un intervalo de 1 a 4000 con 36 réplicas de escaneo y una apertura de 100 tenemos un comportamiento bastante similar pero con unos valores un poco más elevados nos da a entender que los componentes los componentes parafínicos y aromáticos que posee dicha mezcla son esenciales en la presencia de los grupos funcionales de cada uno de los combustibles además podemos observar que los picos por absorbancia en esta gráfica son un poco mayores que la anterior debido a la composición de la mezcla FT IR 2, se puede observar cómo esta mezcla tiene más presencia de alcohol y por esto mismo podemos deducir que el octanaje de esta mezcla va a aumentar mucho más que la anterior por su respectiva composición.

Deduciendo la gráfica de una manera cualitativa se puede decir que este combustible es un combustible de alrededor de 88 octanos, analizando a profundidad el comportamiento de la curva, y partiendo de la cantidad de alcohol presente y la gráfica de región de carbono.

Figura 8.

Grafica del análisis del FTIR-2



Nota. Gráfica 2 del análisis de la mezcla FT-IR 2 tomada de los resultados obtenidos por el laboratorio M&G SAS

2.4.3 Resultado de la Prueba FTIR-3

En la última prueba realizada con las mayores concentraciones de gasolina de avión y bio etanol podemos observar (fig. 9) en la banda de 3345 la banda de alcohol con presencia de OH compuesto químico principal de esta sustancia, este pico en la

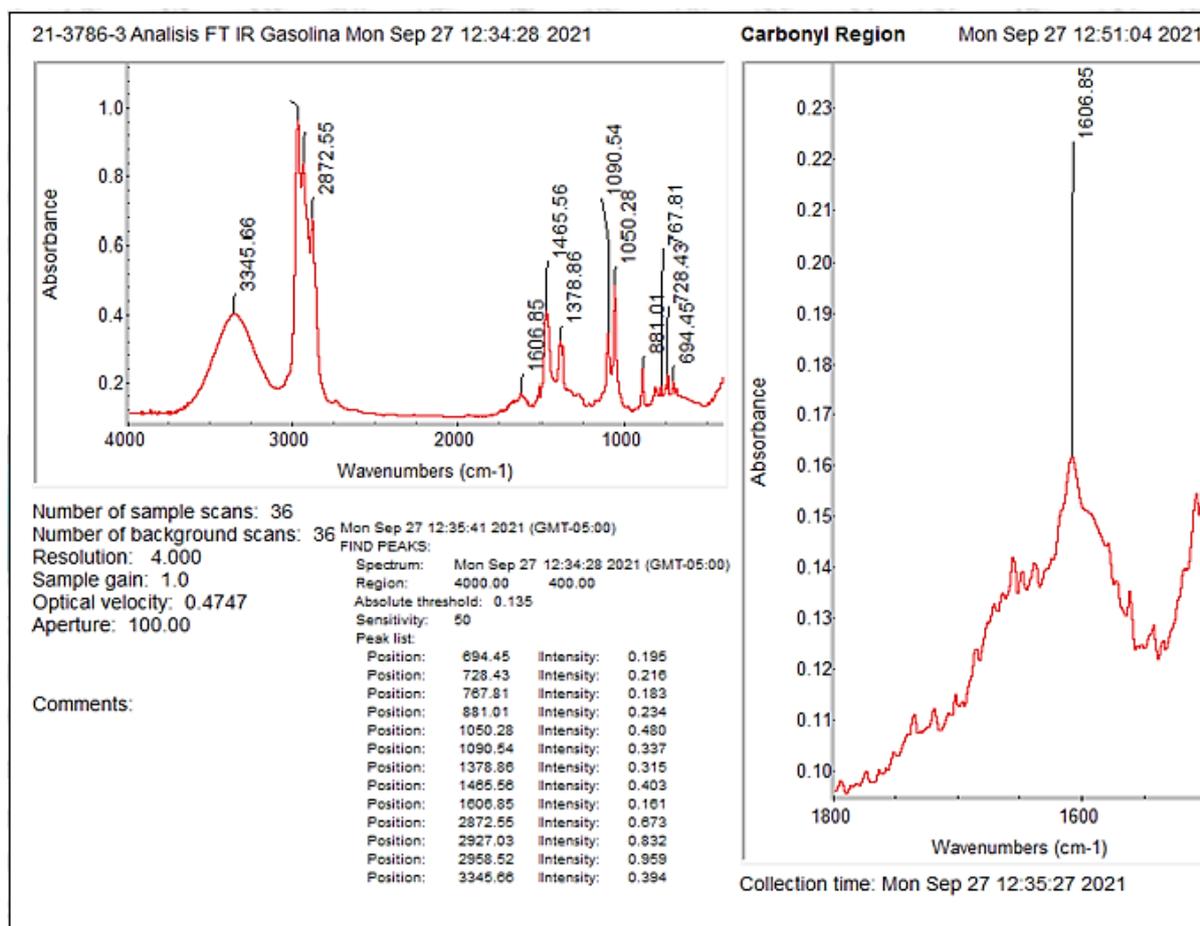
gráfica nos evidencia que su calidad en comparación con la gasolina base tomada es en gran porcentaje de mejor propiedades de oxigenación mejorando a su vez la capacidad antidetonante teniendo alrededor de 94 grados de octanaje, siendo así menor a la gasolina extra suministrada en las estaciones de servicio en Colombia pero que partiendo de la gasolina corriente tiene 11 grados por encima, pudiendo ser una opción de calidad intermedia para ofrecer al cliente final.

Esta mezcla sería la mezcla ideal a manejar finalmente por su gran poder calorífico y su capacidad antidetonante y número RON que cumple con estándares internacionales en calidad de combustibles, convirtiendo así a Colombia en un país competitivo frente a ofertas de combustibles.

La presencia de combustible de avión en estas mezclas comprueba la efectividad de dicho combustible al momento de ser utilizado en vehículos que requieren de alto rango de relación en sus cámaras de combustión, como se puede ver en el caso de los vehículos de competición en autódromos o pistas de pruebas que requieren de máximo poder o su mayor desempeño, por otro lado se deduce que este combustible de avión no solo puede ser utilizado en avión sino en vehículos por tener propiedades similares a la gasolina corriente.

Figura 9.

Grafica de análisis FTIR-3



Nota. Gráfica 3 del análisis de la mezcla FT-IR 3 tomada de los resultados obtenidos por el laboratorio M&G SAS.

2.5 Aditivos mejoradores de octanaje en el mercado

Actualmente en el mercado colombiano se cuenta con varios aditivos que son ofrecidos en tiendas de cadena y estaciones de servicio que ofrecen múltiples beneficios para los motores de los vehículos, entre los que se encuentran limpiadores de inyectores, limpiadores de tanques, lubricación de inyectores, inhibición de corrosión, reductores de humo, lavados de motor, y entre los más importantes se encuentran los elevadores de octanaje y aumento de caballaje de potencia al motor.

El componente principal de estos aditivos es el combustible de avión JET A1, el queroseno y el alcohol carburante, prometen aumentar potencia al motor y elevación de octanaje en el combustible, la concentración es en altas proporciones para poder brindar estas propiedades al combustible que se encuentra en el tanque del vehículo o que está próximo a repostar, por tal razón manifiestan que debe ser agregado antes de agregar el combustible al tanque para que sea mezclado sin problema, actualmente una empresa colombiana llevó a cabo un proceso de certificación de aditivo por problemas respecto a la efectividad de dicho aditivo, luego de extensos procesos de investigación y pruebas logró demostrar la efectividad de su producto y la certificación por parte de la superintendencia de industria y comercio y del instituto colombiano de petróleos (ICP) que su producto lograba aumentar hasta en 3 puntos el número de octanos presente en la gasolina corriente.[11]

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de los resultados obtenidos por parte de la prueba de espectroscopia infrarroja FT-IR aplicada a cada una de las nuevas mezclas realizadas en el laboratorio se pudo considerar que la mezcla FT IR 3 es la mejor alternativa a seleccionar en base a sus beneficios en calidad comparada con respecto a los resultados obtenidos por las otras pruebas realizadas a las otras diferentes mezclas.

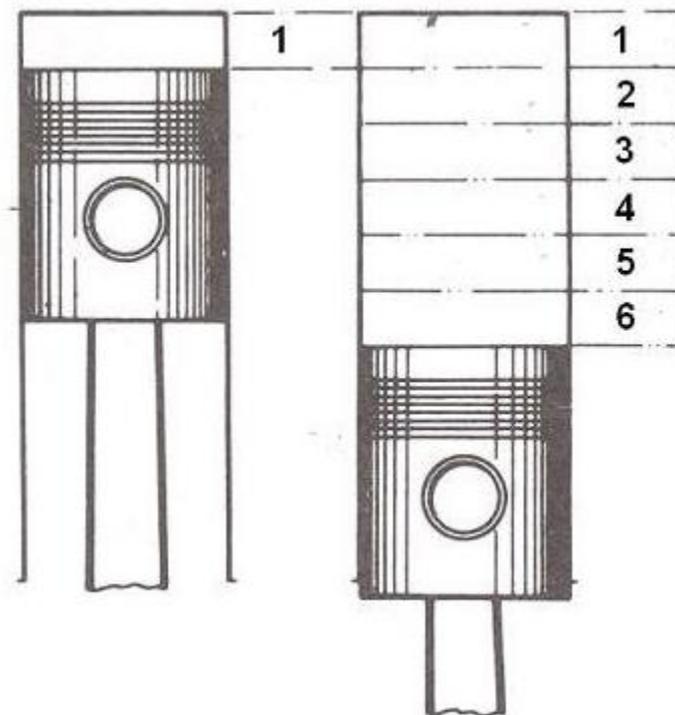
Según los análisis obtenidos de la prueba realizada a la mezcla FT-IR 3 se pudo determinar como el número de octanos aumentó de manera drástica al haberle agregado determinada cantidad de cada uno de los componentes, estas proporciones o valores en % V/V son un 25% de combustible jet fuel a1 correspondiente a 75 ml, un 15% de bioetanol que corresponde a 45 ml y un 60% de gasolina corriente actual correspondiente a 180 ml para obtener un total de 300 ml en dicha mezcla.

La mezcla final nos ofrece una calidad adicional a las obtenidas en el mercado Colombiano con alto poder calorífico y capacidad de oxigenación por su concentración de alcohol como se aprecia en el comportamiento de la prueba de laboratorio que se le realizó en las instalaciones de M&G SAS donde se pudo determinar que las características que posee la mezcla FTIR 3 como combustible para beneficiar los vehículos que utilicen este combustible en zonas sobre el nivel del mar como lo puede ser Bogotá con una altura promedio de 2640 m sobre el nivel del mar, sabemos que debido a esta altura se carece de una óptima oxigenación o presencia de oxígeno y por tal razón sería el combustible ideal para ciudades con estas características geográficas, por otro lado se tiene que la mayoría de ciudades en Colombia están ubicadas a condiciones similares, la implementación de este combustible beneficiaría directamente los consumidores que poseen vehículos con estándares internacionales en el uso de sus combustibles y teniendo en cuenta de que el parque automotor en Colombia es muy reciente y modelos nuevos con sistema integrado de inyección directa que optimiza su combustión con la correcta combinación de aire y combustible en determinada proporción desde 8:1 hasta 12:1 llamado esto relación de compresión que es la diferencia del volumen que un cilindro del motor con el pistón en punto muerto inferior con respecto al espacio que queda cuando éste sube.

Por reglas simples se tiene que para una compresión mayor a 10:1 se debe utilizar combustible de alta calidad y alto octanaje porque de lo contrario se puede causar una ignición adelantada a la chispa causando daños en el motor además de cascabeleo o pistoneo.

Figura 10.

Gráfica de relación de compresión



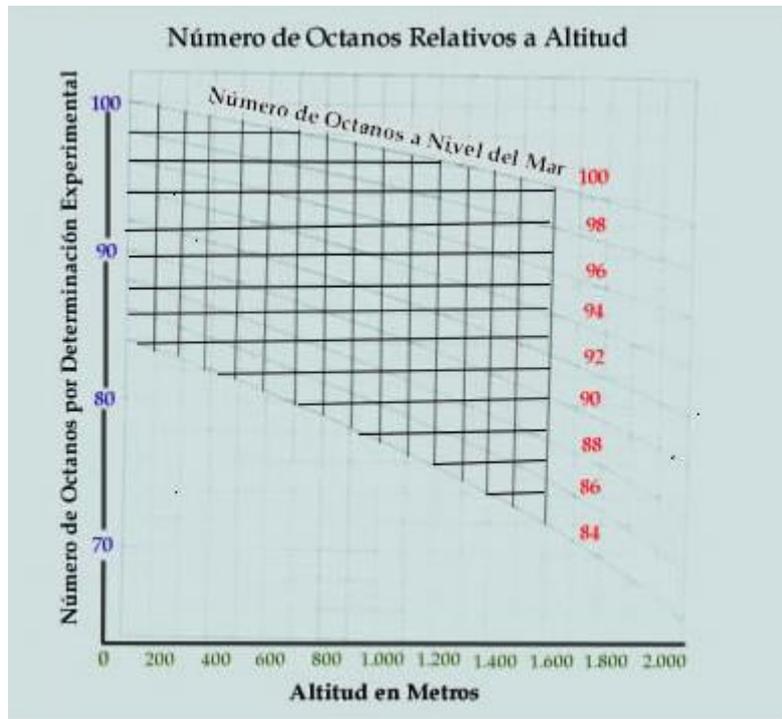
Nota. Gráfica de relación de compresión. Tomado de: Imágenes de compresiones. [En Línea] <http://www.fullmecanica.com/definiciones/r/1285-relacion-de-compresion>. [Acceso:17 de noviembre de 2021].

También hay que tener en cuenta que por cada 1000 metros sobre el nivel del mar el motor pierde hasta un 10% de potencia puesto que el aire de inflado llega a ser más “grosso”.

La manera de poder recuperar la efectividad de estos motores a esas alturas es con la adición de octanaje, aditivos que mejoran la calidad, pero a bajas proporciones por la cantidad que estos envases contienen.

Figura 11.

Grafica de numero de octanos vs altitud en metros



Nota. Grafica de numero de octanos vs altitud en metros. Tomado de: Comportamiento de número de octanos en motores [En Línea] http://www.solomotores.cl/competicion/images/octanos_altitud.jpg. [Acceso:14 de noviembre de 2021].

Según la figura 10 podemos ver como se muestran valores antidetonantes en función de la altitud por lo cual se puede decir que la presión atmosférica es una variable muy importante que puede afectar el índice de octanos efectivo de una gasolina, este número de octanos caracteriza un tipo de gasolina que puede variar respecto a la altitud a la que esta se utiliza, debido a esto una gasolina que tiene un índice de

octanos de 85 a nivel del mar puede subir a 91 cuando esta se utiliza a 600 metros de altura.

Además de esto se puede generar un mayor avance de encendido que ayuda a obtener mayor potencia durante la aceleración del motor, si una gasolina se utiliza a nivel del mar y también a una determinada altura el motor puede aceptar un avance mayor de encendido, esto resultaría beneficioso de hacerlo puesto que entre más altitud se tenga el valor de la presión atmosférica disminuye como también la densidad de la mezcla lo cual generaría una sincronización en el momento de combustión con el movimiento de los pistones.

El octanaje se puede establecer con una mezcla formada por heptano e isoctano en un proceso de refinación de petróleo que al fabricar la gasolina comercial nos permite obtener un índice natural de 40 a 70 octanos y para alcanzar un mayor índice se pueden agregar diferentes químicos llamados aditivos que pueden mejorar la resistencia a la detonación en este caso en particular podríamos decir que estos aditivos sería el bioetanol y el combustible jet fuel A1.[12]

4. EVALUACIÓN ECONOMICA

En Colombia los precios en los combustibles han sido regidos por varios factores que inciden directamente en estos como lo son el ingreso al productor, impuesto territorial, impuesto nacional, Biocombustibles, margen de distribución, transporte y ganancias de distribuidores minoristas.

4.1 Ingreso al productor

Se refiere al porcentaje de la compañía encargada de refinar y producir el combustible que para el caso de Colombia es Ecopetrol, y su porcentaje cubre las actividades de refinación o transformación del petróleo en sus derivados. Para luego ser vendido a mayoristas que tengan la capacidad logística, segura y estratégica de llegar hasta los distribuidores minoristas que son las estaciones de servicio. En este porcentaje están incluido los ingresos a proyectos de exploración e inversiones de los mismos.

También se incluyen costos de transportes a través de los oleoductos y transporte a los distribuidores mayoristas.

4.2 Impuesto territorial

En este ítem se tiene el impuesto regional o territorial que se cobra al consumo de combustibles o mejor llamada en Colombia sobretasa a la gasolina, esta sobretasa o impuesto a la gasolina fue autorizada mediante la ley 86 de 1989, el artículo 259 de la ley 223 de 1995, la ley 488 de 1998, y el artículo 55 de la ley 788 de 2002. y hace mención:

«Los responsables de sobretasa son los distribuidores mayoristas de gasolina motor extra y corriente y del ACPM, los productores e importadores. Además, son responsables directos del impuesto los transportadores y expendedores al detal, cuando no puedan justificar debidamente la procedencia del combustible que transporten o expendan y los distribuidores minoristas en cuanto al pago de la sobretasa de la gasolina y el ACPM a los distribuidores mayoristas, productores o importadores, según el caso.» [12]

4.3 Impuesto nacional

Este impuesto nacional fue implementado en una de las reformas tributarias en el 2013 y reemplazó un anterior impuesto global a la gasolina de un artículo del año 1995. Este impuesto será deducible del impuesto sobre la renta por ser mayor valor del costo del bien. Lo recaudado en este impuesto va directamente a arcas del gobierno nacional contrario a lo que sucede con el territorial que alimenta el departamento.

4.4 Biocombustibles

Para este rubro se direcciona todo el dinero recaudado a los mejoramientos de combustibles, mejoramiento de octanajes y cetanos y que se puedan entregar combustibles de más alta calidad, es claro que para este propósito el principal combustible utilizado es el alcohol carburante (Etanol).

Por otro lado, se han hecho grandes inversiones al desarrollo del Biodiesel que sustituye el Diesel común además trae grandes beneficios y ventajas puesto que se produce a partir de cualquier aceite vegetal virgen o usado, o de grasa de animales.

De este proceso se obtiene como resultado biodiesel y un subproducto conocido como glicerol.

4.5 Margen de distribución

Este margen es regulado por el gobierno nacional que remunera las inversiones requeridas para realizar las actividades de comercialización a nivel mayorista y minorista. El ministerio de minas y energías modificó este rubro margen de distribución minorista al definir precio de referencia de la gasolina motor, el ACPM y Biocombustibles.

4.6 Transporte

Se hace referencia al transporte de los mayoristas hasta los minoristas, el transporte de los minoristas a las estaciones de servicio y de aquí a los surtidores. En este porcentaje también se incluyen los costos de fletes marítimos o terrestres y demás para poder tener cubierto el transporte total de combustibles desde el puerto de exportación de la costa colombiana.

Siendo así se tiene un 51% para ingreso al productor, 26% de impuestos, 7% de biocombustibles, 10% margen de distribución y 6% de transporte. [13]

4.7 Marco legal y regulatorio de los precios de la gasolina

La regulación de los precios de los combustibles se basa en los decretos 2104 de 1974, 1736 de 1975 y la ley 1 de 1984 del ministerio de minas y energía.

En la actualidad la política de precios de los combustibles está regida por el decreto 70 de 2001 el cual establece que el ministerio de minas y energía tiene como una de sus funciones la de fijar los precios de los productos derivados del petróleo a lo largo de todo el proceso que se realiza para estos derivados que viene desde la producción hasta la distribución.

Existen las resoluciones 8-2438 y 8-2439 que establecen que el precio de la gasolina corriente está compuesto por cuatro componentes que son: el ingreso al productor, el precio máximo de venta al distribuidor mayorista, el margen del distribuidor mayorista y el precio máximo de venta en planta de abasto mayorista y el precio de venta al público.

4.8 Precios de la gasolina e inflación

Los aumentos periódicos de los precios de la gasolina son más susceptibles a las variables como el precio internacional del petróleo y variables macroeconómicas como lo son la discrecionalidad del ministerio de minas, la inflación y la tasa de cambio además el precio de dichos combustibles también puede verse afectado

indirectamente a través de subsectores económicos como lo son el transporte de personal y transporte público por lo cual el mercado actual de la gasolina en Colombia se puede decir que está a un nivel competitivo en entrada y salida pero este es regulado en los precios específicamente por parte del productor y del comercializador.[14]

4.9 Combustible de aviación en el mercado

En el presente los proveedores y líneas aéreas son los encargados de abastecer de combustible a los aviones en las diferentes ciudades del país que se encuentran lejos de refinerías y centros de operaciones.

El jet fuel a1 o cualquier otro tipo de combustible utilizado para la aviación representa más de 40% del total de los gastos por parte de una línea aérea pero también el mercado está segmentado por limitaciones logísticas localizadas que pueden alterar los precios y además de esto necesitan de una ordenada gestión de la cadena de suministro.

Los proveedores o dichas líneas aéreas están encargadas de crear índices de precios de una manera correcta para cada mercado esto para que se pueda mejorar la gestión del combustible y poder influir en los resultados de manera en la que el precio de mercado con mayor integridad se base en experiencias entre compradores y vendedores con la máxima visibilidad en el mercado que en la actualidad se basa en la mayor liquidez debido a que esta es el fundamento de la precisión en este mercado.[15]

Tabla 9.*Precio promedio por ciudad de los combustibles*

Precios de referencia por ciudades	Gasolina (\$)	Diésel (\$)
Bogotá	8.991	8.802
Medellín	8.934	8.810
Cali	9.029	8.914
Barranquilla	8.686	8.522
Cartagena	8.647	8.491
Montería	8.897	8.741
Bucaramanga	8.752	8.582
Villavicencio	9.091	8.902
Pereira	8.976	8.862
Manizales	8.984	8.852
Ibagué	8.943	8.791
Pasto	7.542	7.947
Cúcuta	7.261	6.778

Nota. Precio promedio por ciudad de los combustibles en Colombia Tomado de: Precios de los combustibles en Colombia. [En Línea]:

<https://www.elcarrocolombiano.com/noticias/subio-la-gasolina-en-colombia-desde-hoy-es-146-mas-cara/>. [Acceso:14 de noviembre de 2021]

En la anterior tabla se muestra el precio promedio de los combustibles en Colombia tipo gasolina corriente y Diesel, existen variaciones de ciudad a ciudad porque hay valores como transporte o ingreso al departamento que varían, el caso más notorio es el de la ciudad de Cúcuta y todo el departamento de Norte de Santander porque se encuentra en frontera con el país de Venezuela, y el departamento con el fin de combatir el contrabando de combustibles traídos desde el país vecino excluye de IVA e impuestos el combustible en esta zona, pero el gobierno compensa el valor de los

combustibles de esta zona con la reducción de la calidad en los combustibles disminuyendo el porcentaje de etanol.

Figura 12.

Precios gasolina de avión

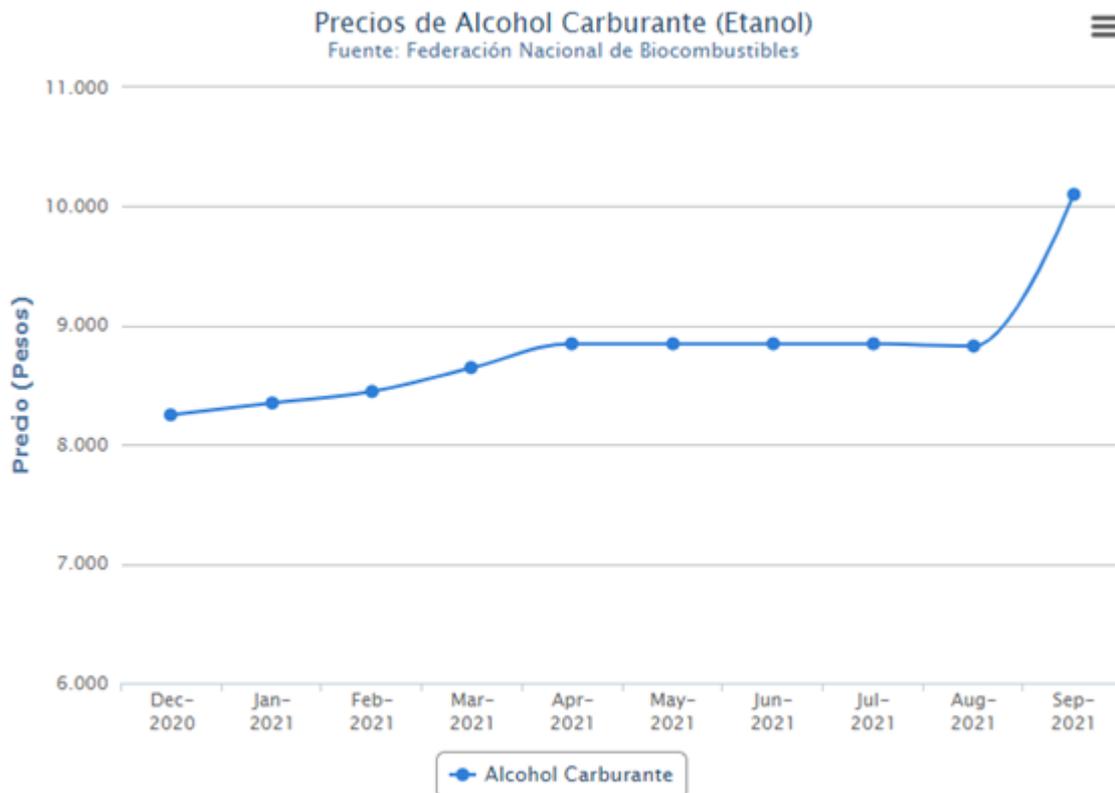


Nota. Precios gasolina de avión en pesos colombianos por galón. Tomado de: Análisis de precios combustibles en el mundo. [En Línea]: <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=gasolina-de-aviacion&moneda=cop> .[Acceso:10 de octubre de 2021)

En la anterior tabla se observa la evolución de precios de la gasolina de avión durante el año 2021, y como los precios de este combustible llegan a ser incluso más económico que el tipo corriente utilizado en vehículos, por tal razón el uso de este combustible es clave al momento de realizar la mezcla, por sus propiedades y beneficios económicos.

Figura 13.

Precio del alcohol carburante



Nota

Precio del alcohol carburante (Etanol) tomada de: Federación Nacional de Biocombustibles. [En Línea]:

[https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-precios-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm._](https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-precios-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm._) [Acceso: 14 de octubre de 2021]

En la fig. 12 se aprecia la evolución de precios del etanol en Colombia durante el año 2021 dado en precio por galón, dado que dicho combustible se produce a partir de material orgánico los precios de este son un poco más elevados, pero de igual manera su uso en mezcla con combustibles es bajos por su alto poder de oxigenación y es así como actualmente el porcentaje máximo ya presente en la gasolina corriente obtenida en las estaciones de servicio no supera el 8%.

5. PLAN DE PRODUCCIÓN EN LA NUEVA MEZCLA

Para llevar a cabo la realización de la nueva mezcla se deben tener en cuenta varios factores como son precios, marco legal que permita realizar dicha mezcla, rentabilidad, proyección a futuro, costos de producción.

Partiendo de los precios ya establecidos para cada uno de los componentes de la nueva mezcla, se toman estos precios para incluir ya los impuestos de cada uno de ellos y tomar un cálculo final del nuevo combustible, hacemos un cálculo de los porcentajes de cada uno de los componentes y su equivalencia en pesos colombianos para sumar estos valores y tener el precio final por galón. Los precios tomados son en este caso para la ciudad de Bogotá y son:

-Gasolina corriente nacional: **8.991** pesos el galón

-Gasolina Jet A1: **8.150** pesos por galón

-Bioetanol (Alcohol Carburante): **10.101** por galón

Se pretende realizar las mezclas en las plantas de distribución a minoristas ya que estas son las que cuentan con las capacidades de almacenamiento y permisos para tratar estos combustibles, ya hacen mezcla con solo etanol actualmente y sería cambiar proporciones y agregar la Jet a1 para la producción de la nueva mezcla.

En términos legales es posible agregar aditivos para mejorar la calidad de los combustibles informando previamente al ministerio de minas y energía de la adición de estos y la aprobación de los mismos, casos ya presentes en el mercado como lo hace Texaco que agrega a su combustible un aditivo llamado Techron que limpia componentes y dice brindar otros beneficios, o el caso de Primax que incluye también un aditivo que ellos llaman G-Prix y mejora la calidad de dicho combustible.

Se hará una proyección de costos a un galón para tener el precio final por costo por tal razón se tomarán las siguientes proporciones de acuerdo a los porcentajes de la prueba FTIR-3.

Tabla 10

Concentraciones de cada componente en mezcla final

	MEZCLA FINAL	
POR GALÓN	PORCENTAJE	MILILITROS
GASOLINA	60%	2271
JET A1	25%	946,25
BIOETANOL	15%	567,75
TOTAL	100%	3785

Nota. Porcentajes de la mezcla final

En la anterior tabla se calcula los milímetros por galón de cada uno de estos componentes para conseguir el valor en pesos de cada uno de ellos por regla de tres, siendo así:

$$P(G) = 8991 * \frac{1}{3785} * 2271 = 5394.6$$

Donde P(G) es el precio de la gasolina corriente en pesos colombianos equivalente a 2271 mililitros.

$$P(A) = 8150 * \frac{1}{3785} * 946.25 = 2037.5$$

Donde P(A) es el precio del combustible de avión en pesos colombianos equivalentes a 946.25 mililitros.

$$P(B) = 10101 * \frac{1}{3785} * 567.75 = 1515.15$$

Donde P(B) es el precio del bioetanol (Alcohol Carburante) en pesos colombianos equivalentes a 567.75 mililitros.

5.1 Costo final

Luego de sumar el valor de cada de una de las proporciones para completar el galón de la nueva mezcla tenemos un valor final de **7583.25** pesos colombianos, al cual el gobierno puede agregarle un impuesto por el uso de gasolina de aviación en combustibles de vehículos teniendo en cuenta que se cambia la finalidad del uso de dicho combustible, además el margen de ganancia para distribuidores mayoristas y minoristas aumenta partiendo de que este cálculo se realizó con algunos impuestos incluidos.

Como resultado final se obtiene una mezcla final con grandes ventajas como precio, eficiencia, calidad y además da la opción de ofrecer al consumidor una alternativa al momento de adquirir combustible a su vehículo.

De esta manera se ofrecen las tres posibles opciones finales al consumidor.

Tabla 11

Precio final de la mezcla

GASOLINA CORRIENTE (86 OCTANOS)	GASOLINA MEDIUM (93 OCTANOS)	GASOLINA EXTRA (98 OCTANOS)
\$ 8.991	\$ 11.995	\$ 15.700

Nota. Cabe destacar que estos valores son aproximados teniendo en cuenta que en Colombia los precios de los combustibles varían mes a mes.

6. CONCLUSIONES

De esta manera se logró cumplir con los objetivos planteados partiendo de cada uno de ellos, mediante comprobaciones químicas, laboratorios, estudios de mercado, económicos sobre costos en el país, así mismo pudimos crear una nueva mezcla entre combustibles que cumplieran cada una de ellas con las normas legales colombianas y en la que no se alteró su composición sino la concentración de componentes, el uso adicional que se le puede dar al combustible Jet a1 de no solo para aviones sino también en vehículos en presencia con bajas concentraciones de esta.

Pudimos establecer analizando varias pruebas cuál de estas sería la más eficiente, mediante el uso de prueba de infrarrojo FTIR que ayudó a la determinación de su número de octanos en su análisis cualitativo de octanos y presencia de alcoholes.

Por otro lado, se logró un estudio económico de la producción de la nueva mezcla tomando como referencia valores de dichos combustibles utilizados para la fecha del mes de noviembre del año 2021, con posibilidad de proyectarlo a otro año o tiempo porque se basó en las cantidades y esto hace que el proyecto dependa directamente de las cantidades y que varíen los precios dependiendo del tiempo que se haga dicho análisis.

Como dato final se comprobó la viabilidad del proyecto tanto económicamente como legalmente a fin de poder llevar a cabo la implementación de un nuevo combustible en las estaciones de servicio con estas características.

Esta nueva mezcla de combustible como se estableció en los objetivos cubrirá las necesidades de personas con características intermedias y precios asequibles.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Alcohol combustible*. [En Línea]. Disponible: <https://www.hisour.com/es/alcohol-fuel-41186/>. [Acceso: septiembre 23, 2021].
- [2] Industria y comercio Superintendencia. *Boletín tecnológico bioetanol*. [En línea]. Disponible: [:https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/BTBioetanol.pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/BTBioetanol.pdf). [Acceso: Septiembre 29, 2021].
- [3] Federación nacional de biocombustibles de Colombia. [En Línea]. Disponible: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm> . [Acceso: octubre 6, 2021].
- [4] Identificar los elementos técnicos, económicos y logísticos que permitan valorar el ingreso al productor de gasolina motor corriente, diésel, JET A1 y GLP y proponer al menos tres alternativas de valoración para cada producto. [En Línea]. Disponible: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/d0751c0ec9e5497ba05258250007bb98c/\\$FILE/Circular019-2018%20Anexo-1.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/d0751c0ec9e5497ba05258250007bb98c/$FILE/Circular019-2018%20Anexo-1.pdf) .[Acceso: Octubre 12, 2021].
- [5] Evaluación teórica/experimental de las propiedades fisicoquímicas del combustible Jet-A1 y el efecto generado en dichas propiedades por la presencia de agua: [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78678> [Acceso: Octubre 15, 2021].
- [6] C. A. Zapata Diaz: *Modelamiento del número de octano de gasolinas comerciales colombianas usando la técnica de espectroscopia infrarroja FT-IR*. [En Línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78446/1059698249.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y> .[Acceso: Octubre 15, 2021].
- [7] Ingeniería y norma ASTM [En Línea]. Disponible: [.https://www.astm.org/toolkit/images/ASTM%20Information/DL_Flyer_022212_Spanish.pdf](https://www.astm.org/toolkit/images/ASTM%20Information/DL_Flyer_022212_Spanish.pdf) .[Acceso: Octubre 18, 2021].
- [8] Historical Standard: *Método de prueba estándar para número de octano de investigación de combustibles para motores de ignición por chispa*: [En Línea]. Disponible: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2699-17-SP.htm>

- [Acceso: octubre 21, 2021].
- [9] Nen (2013) *Norma ASTM*. [En Línea]. Disponible: <https://www.nen.nl/en/astm-e1252-98-2013-e1-en-1083316> [Acceso: Octubre 26, 2021].
- [10] Bruker (2021) *Guía de espectroscopia infrarroja*. [En Línea]. Disponible: <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy.html> [Acceso: Octubre 30, 2021].
- [11] El Tiempo “ICP certifica aditivo Qualitor” 12, junio, 2020, [En Línea]. Disponible: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM1955945> [Acceso: Noviembre 4, 2021].
- [12] Solo Motores (2020) *Octanaje de gasolina*. [En Línea]. Disponible: http://www.solomotores.cl/octanos_bencina.htm [Acceso: Noviembre 10, 2021].
- [13] Auto Lab (2019) *Como se calcula el precio de los combustibles en Colombia*. [En Línea]. Disponible: <https://autolab.com.co/blog/calcula-precio-combustibles-colombia/> [Acceso: Noviembre 13, 2021].
- [14] Banco de la Republica (2020) *Mercado Actual de la Gasolina y del ACPM en Colombia e Inflación*. [En Línea]. Disponible: <https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra287.pdf> [Acceso: Noviembre 16, 2021].
- [15] Argus (2019) *Combustible de aviación*. [En Línea]. Disponible: <https://www.argusmedia.com/es/oil-products/jet-fuel> [Acceso: noviembre 19, 2021].

ANEXOS

ANEXO 1

RECOMENDACIONES

A continuación, se enumeran una serie de recomendaciones que deseamos sugerir en base a los resultados obtenidos y a las conclusiones a que se llegó luego del presente proyecto.

1. Se podría trabajar en mejorar el modelo utilizado en esta tesis para determinar el número de octanos que posea una mezcla de gasolina realizando un mayor número de pruebas mediante la técnica de la espectroscopia infrarroja a las diferentes mezclas para obtener así un mayor número de correlaciones para la determinación más precisa de las propiedades que estos compuestos puedan tener.
2. Extender los estudios enseñados en esta tesis analizándolos con mayor detenimiento para enfocarse en una evaluación medio ambiental en la cual podría centralizarse en los beneficios que traería al medio ambiente este tipo de biocombustibles en el mercado.
3. Se invita a realizar el mismo enfoque del proyecto incorporando el método que establece la norma ASTM para la obtención de resultados más precisos y completos para realizar investigaciones sobre las propiedades de estos combustibles para poder así llevarlos al mercado.
4. Al ser una nueva mezcla en el mercado de los combustibles se recomienda aplicar un plan de mercadeo que dé a conocer esta nueva mezcla a los consumidores en donde se cumpla con los objetivos planteados y de esa manera garantizar la factibilidad del proyecto.

ANEXO 2 INFORME ANALISIS FTIR



Informe de Resultados No.

GASOLINA FTIR

21-3786

Ciente
INGENIERIA MEDIO AMBIENTAL LTDA
Contacto
NELSON FERNANDEZ
Dirección
CALLE 87 No. 49-21
No. Orden de Trabajo
21-3786

Teléfono
6216325

Fecha de Recepción
2021-09-06
Fecha de Ensayo
2021-09-27 - 2021-09-27
Fecha de Emisión
2021-09-27

Número de Páginas del Informe incluyendo Anexos
5

Este informe no puede ser reproducido parcial o completamente sin la autorización de Laboratorios M&G S.A.S. Este documento ha sido firmado y certificado digitalmente, cualquier cambio, modificación o sustracción que se haga del mismo invalidará su autenticidad; en caso de que se invalide dicha autenticidad por parte del cliente o un tercero, el laboratorio iniciará las acciones legales correspondientes de conformidad con lo establecido en el Código Penal y el Código de Procedimiento Penal Colombiano. La copia electrónica que se le proporciona al cliente conservará el valor de original siempre que no se vulneren las propiedades de seguridad del documento. El Laboratorio no se hace responsable por el uso y disposición que el cliente le dé a la copia electrónica. En caso de requerirse el informe original impreso, éste sólo será válido con el sello seco de Laboratorios M&G S.A.S. y con las firmas a mano del Personal Autorizado. Para más información remitirse a lo descrito en las consideraciones generales detalladas al final del presente documento.



Porque siempre es mejor. Probar.

Documento Aprobado por:



Firmado digitalmente por Sistemas
DN: cn=Sistemas
gn=Sistemas
c=Colombia | =CO
o=Laboratorios MYG
e=areasistemas@laboratoriosmyg.com.co
Motivo: Firma Digital
Ubicación:
Fecha: 2021-09-27
14:03-10:00

Sello

Ensayos Realizados por:

Diego Rodríguez
Director Técnico Físicoquímica

Informe de Resultados No. 21-3786 (Rev. 00)

Página 1 de 5

IR301F09 Versión 04 de 2021-03-15

Calle 65A N° 74 - 54 - Bogotá- Colombia
Teléfonos 5477675 - 310 806 6036
gerencia@laboratoriosmyg.com
www.laboratoriosmyg.com

LABORATORIOS M&G S.A.S.

1. Especificaciones Técnicas

Tabla 1. Composición química - Caracterización física análisis infrarrojo (ASTM E1252)

Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-1	GASOLINA FTIR 1	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.
Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-2	GASOLINA FTIR 2	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.
Código Interno Muestra	Producto	Caracterización física análisis infrarrojo
21-3786-3	GASOLINA FTIR 3	Se realiza el barrido infrarrojo en el rango de 400 a 4000 cm ⁻¹ con método de absorbancia y pastilla para líquidos de KBr, resolución 4 cm ⁻¹ número de Scans 36, apertura de 100, se realiza identificación de picos más altos.

NOTA 1: La incertidumbre de ensayo no aplica debido a que es una evaluación cualitativa

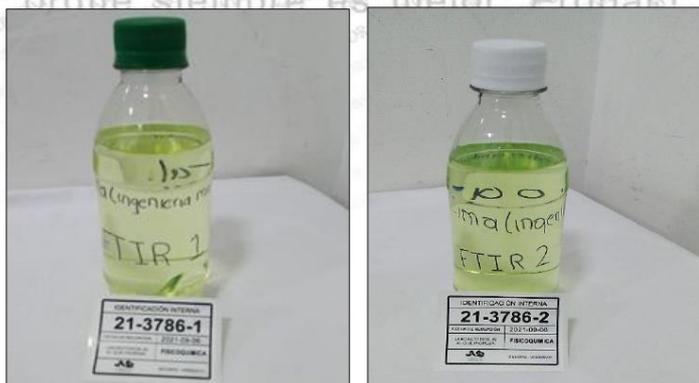
NOTA 2: Ver anexos gráfica 1, 2 y 3 análisis FT-IR

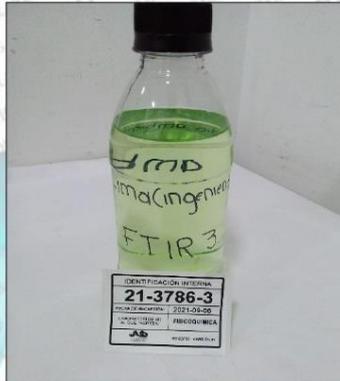
NOTA 3: Las condiciones ambientales durante el ensayo fueron de 19,4°C y HR 57,3%

2. Norma(s) Utilizada(s):

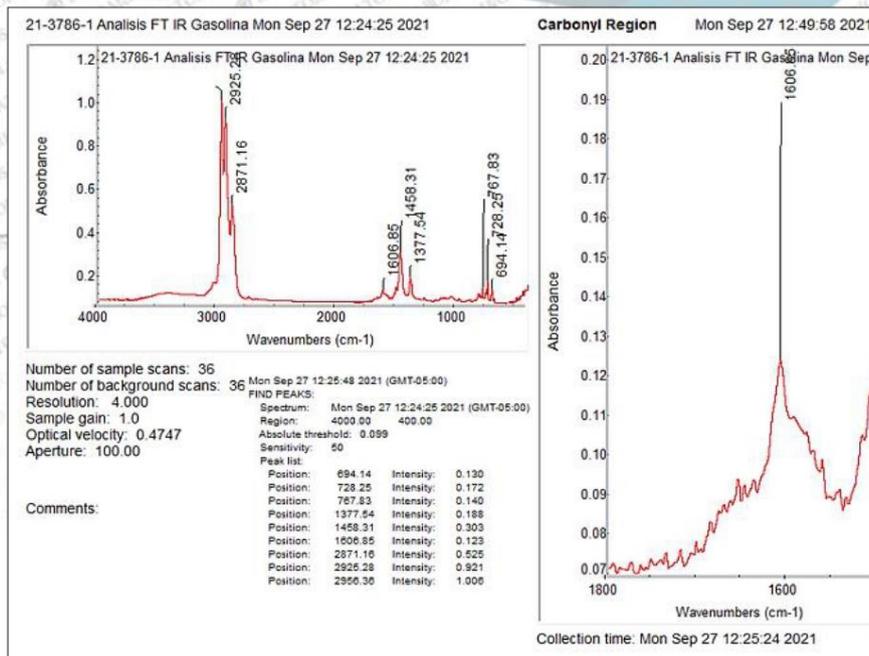
METODOS DE ENSAYO ACREDITADOS POR ema	CÓDIGO (VERSIÓN)
Práctica normal de técnicas generales para obtener espectro infrarrojo para análisis cualitativo en materiales orgánicos e inorgánicos	ASTM E1252-98 (2013)

3. Anexos:

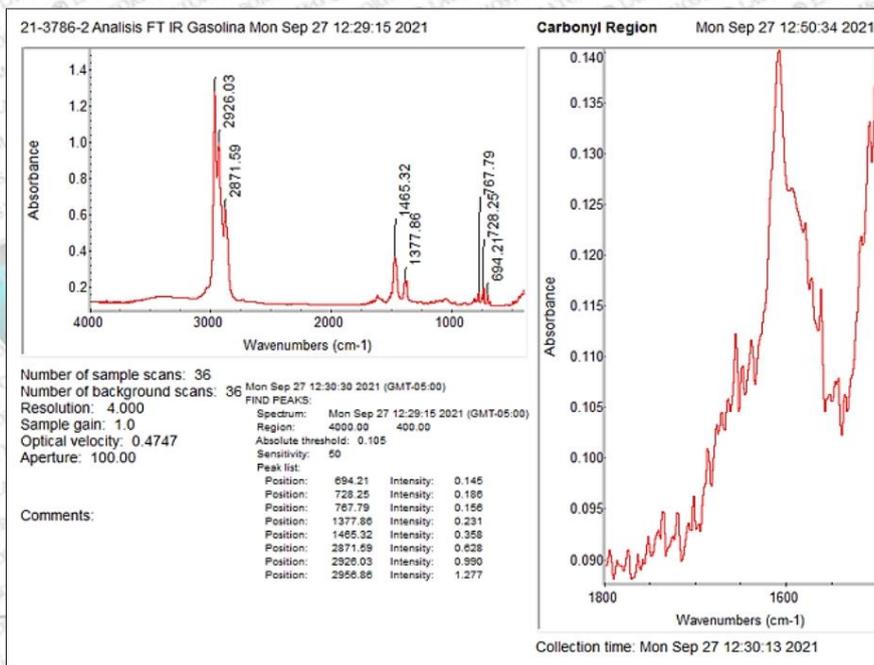




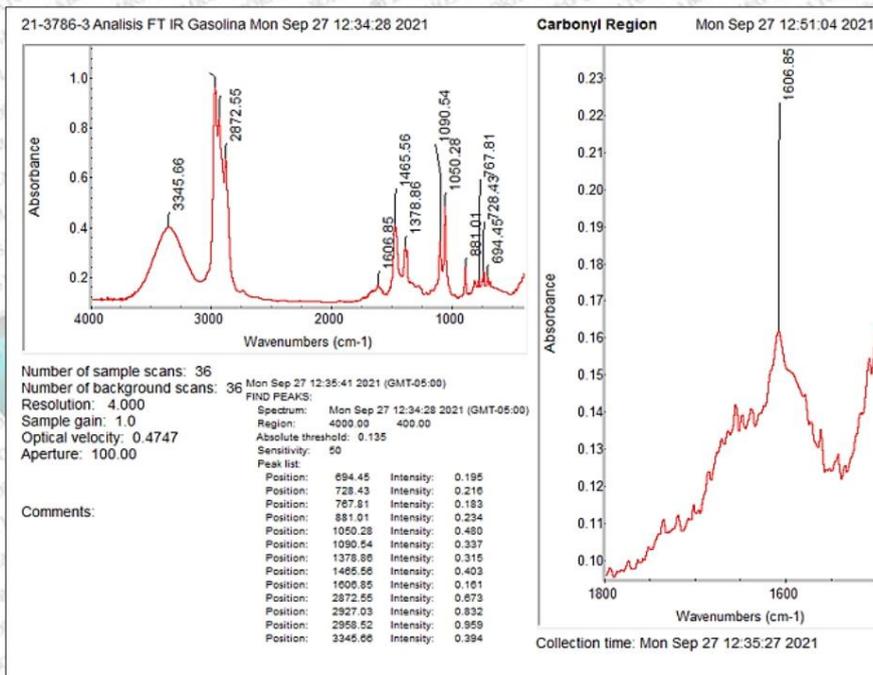
Gráfica 1. análisis FT-IR 21-3786-1



Gráfica 2. análisis FT-IR 21-3786-2



Gráfica 3. análisis FT-IR 21-3786-3



4. Consideraciones Generales

- Previo a los trámites que realizará con el presente documento, es imprescindible que el solicitante verifique el contenido del mismo (incluye comparación contra la respectiva norma o documento de referencia). Si tiene alguna inquietud por favor escribir al correo gerencia@laboratoriosmyg.com.
- Los resultados aquí contenidos solo están relacionados con los ítems ensayados, tal cual son recibidos por parte del cliente. El muestreo de los mismos es responsabilidad del cliente. El cliente se hace responsable de entregar al laboratorio la información relacionada con datos de contacto (Cliente, Contacto, Dirección, Teléfono y Orden de Trabajo - si aplica), descripción de la muestra y ensayos a realizar.
- De ser necesario y cuando el cliente lo solicite, la incertidumbre será reportada en el presente documento. Los resultados de las pruebas aquí contenidas no indican ni certifican que el producto es seguro para su uso comercial o del consumidor.

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS No. 21-3786