



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE DERIVADOS DE PETRÓLEO
FUEL OIL, DIESEL OIL Y DIESEL PREMIUM MEDIANTE
UN MODELO MATEMÁTICO CON LAS NORMAS
INTERNACIONALES EURO IV**

AUTOR:

González Franco, Sheilla Denisse

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en

MAGÍSTER EN PETRÓLEO

TUTOR

Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.

La Libertad, Ecuador

Año 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA
ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**Ing. Fidel Chuchuca Aguilar, MSc.
COORDINADOR DEL PROGRAMA**

**Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.
TUTOR**

**Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc
DOCENTE ESPECIALISTA 1**

**Ing. Andrés Guzmán Velásquez, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA 2**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Ing. SHEILLA DENISSE GONZÁLEZ FRANCO, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Petróleos.

TUTOR

Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.

21 días del mes de Enero del año 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, SHEILLA DENISSE GONZÁLEZ FRANCO

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **ANÁLISIS DE CALIDAD DE DERIVADOS DE PETRÓLEO FUEL OIL, DIESEL OIL Y DIESEL PREMIUM MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO CON LAS NORMAS INTERNACIONALES EURO IV** previo a la obtención del título en Magister en Ingeniería en Petróleo, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 21 días del mes de Enero del año 2024

EL AUTOR

Ing. Sheilla González Franco

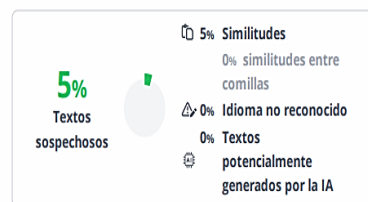


**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **ANÁLISIS DE CALIDAD DE DERIVADOS DE PETRÓLEO FUEL OIL, DIESEL OIL Y DIESEL PREMIUM MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO CON LAS NORMAS INTERNACIONALES EURO IV**, presentado por la estudiante, SHEILLA DENISSE GONZÁLEZ FRANCO fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al **5%**, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



**TESIS PARA COMPILATIO MAESTRÍA
SHEYLA GONZALEZ**



Nombre del documento: TESIS PARA COMPILATIO MAESTRÍA SHEYLA GONZALEZ.docx
ID del documento: 50a5b395f964642bae93545940d1bafab6d23031
Tamaño del documento original: 266,78 kB

Depositante: CARLOS ALBERTO PORTILLA LAZO
Fecha de depósito: 17/12/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 17/12/2023

Número de palabras: 13.131
Número de caracteres: 84.183

TUTOR

Ing. Carlos Alberto Portilla Lazo, MSc



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, SHEILLA DENISSE GONZÁLEZ FRANCO

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

La Libertad, a los 21 días del mes de Enero del año 2024

EL AUTOR

Ing. Sheilla González Franco

AGRADECIMIENTO

El trabajo realizado con éxito a lo largo de esta meta se debe al impulso y sacrificio de mis padres, quienes han forjado mi disciplina y carácter.

Gracias a ellos he cumplido cada uno de mis anhelos y hoy en día me acompañan a culminar otro de estos propósitos.

Nada de esto hubiese sido posible sin ustedes, gracias infinitas por su apoyo incondicional, y sobre todo a Dios por ponerlos en mi vida y guiarnos para hacer de mí una mujer ejemplar.

Ing. Sheilla González Franco

DEDICATORIA

A Flor Balón y Luis Franco, mis adorados abuelos maternos quienes ya gozan de la presencia de Dios.

Son mi fortaleza en cada paso que doy.

A Inés Tomalá y Hugo González, mis abuelos paternos quienes me siguen cuidando y queriendo incondicionalmente sin importar la edad que tenga.

A mis amadas hermanas: Bianca y Mirelly, son mi luz y cable a tierra.

Su impulso y apoyo han sido precisos para la confianza en mí misma.

Dedico también, de especial manera, a Walter, mi novio por la paciencia y amor incondicional ha sido pilar fundamental para que pueda lograr mis objetivos.

Ing. Sheilla González Franco

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
Índice de Tablas	XII
Índice de Figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento de la investigación.....	2
Formulación del problema de investigación	4
Objetivo General:	4
Objetivos Específicos:.....	4
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1. Calidad de los derivados del petróleo.	6

1.2.	Modelo Matemático.....	6
1.3.	Normas internacionales EURO IV.....	6
1.4.	Aplicación del marco referencial.....	6
1.5.	Antecedentes.....	7
1.6.	Petróleo crudo.....	8
1.7.	Procesos.....	9
1.8.	Derivados del petróleo.....	10
1.8.1.	Calidad en los derivados del petróleo y normativas.....	10
1.9.	Norma EURO IV.....	10
1.10.	Refinación de petróleo.....	12
1.10.1.	Proceso de refinación de petróleo.....	13
1.10.2.	Destilación fraccionada.....	14
1.10.3.	Procesos de conversión.....	16
1.10.4.	Reformado catalítico.....	17
1.10.5.	Craqueo catalítico.....	17
1.11.	Formulación.....	18
1.11.1.	Métodos de formulación.....	19
1.11.2.	Parámetros de formulación.....	20
	CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	21
2.1.	Contexto de la investigación.....	21
2.2.	Diseño y alcance de la investigación.....	21
2.3.	Tipo y métodos de investigación.....	22

2.4.	Población y muestra	22
2.5.	VARIABLES	22
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
3.1.	Normas EUROIV	25
3.1.1.	Modelado matemático propuesto para determinar la calidad de los derivados de petróleo	25
3.1.1.	Validación del modelo	34
3.2.	Modelo API.....	35
3.4.	Aplicaciones del modelo propuesto	48
6.1.	Desarrollo de aplicativo	48
6.1.1.	MATLAB.....	48
6.1.2.	APP DESIGNER.....	50
6.2.	DESARROLLO	51
CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		56
4.1.	Conclusiones.....	56
4.2.	Recomendaciones.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de refinación en el Ecuador.	23
Tabla 2. propiedades físico-químico de los derivados de petróleo.	27
Tabla 3. Escala numérica para calificación de los componentes de los derivados de petróleo.....	31
Tabla 4: Categorización de acuerdo con el resultado obtenido en el modelo propuesto. Elaborado por el autor.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

7.	Figura 1. Interfaz gráfica del logo de carga del aplicativo.....	51
8.	Figura 2. Interfaz gráfica de la ventana de ingreso de parámetros para el cálculo de calidad	51
9.	Figura 3. Interfaz gráfica de la ventana de resultados.....	52
10.	Figura 4. programación de la ventana de carga del aplicativo.....	52
	Figura 5. Codificación para la adquisición de parámetros de las característica físico-química de los derivados de petróleo.	53
	Figura 6. Codificación para el cálculo de la calidad de acuerdo con los modelados: EURO IV, API, Y ASTM.	53
	Figura 7. Codificación para la presentación de resultados individuales y comparativos del aplicativo	54
	Figura 8. Resultados para un Diesel de excelente calidad. Elaborado por el autor.	54
	Figura 9. Resultados para un diesel de baja calidad. Elaborado por el autor.....	55

RESUMEN

Los derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium son productos utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, desde la generación de energía hasta el transporte. Para garantizar su calidad y el cumplimiento de las normas ambientales, es necesario realizar un análisis periódico de sus propiedades. El análisis de calidad de estos derivados de petróleo se puede realizar mediante métodos tradicionales, como la cromatografía de gases o la espectroscopia infrarroja. Sin embargo, estos métodos pueden ser costosos y laboriosos. Una alternativa más eficiente es el uso de modelos matemáticos. Estos modelos permiten predecir las propiedades de los derivados de petróleo a partir de sus componentes, lo que facilita el análisis y la evaluación de su calidad. En este estudio, se propone un modelo matemático para el análisis de calidad de derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium. El modelo se basa en las normas internacionales EURO IV, que establecen los límites máximos para los contaminantes en estos productos. El modelo fue desarrollado y validado utilizando datos experimentales de derivados de petróleo de diferentes proveedores. Los resultados mostraron que el modelo es capaz de predecir con precisión las propiedades de los derivados de petróleo, incluyendo su contenido de azufre, contenido de carbono, densidad y punto de inflamación. El uso de este modelo matemático ofrece una serie de ventajas, entre las que se incluyen: Es más eficiente y económico que los métodos tradicionales, permite realizar análisis más rápidos y precisos, facilita la evaluación de la calidad de los derivados de petróleo. Este modelo podría ser utilizado por empresas productoras y comercializadoras de derivados de petróleo para garantizar la calidad de sus productos y el cumplimiento de las normas ambientales.

Palabras clave: derivados de petróleo, fuel oil, diésel oil, diésel premium, análisis de calidad, modelo matemático, normas internacionales EURO IV

ABSTRACT

Fuel oil, diesel oil and premium diesel petroleum derivatives are products used in a wide variety of applications, from power generation to transportation. To ensure their quality and compliance with environmental regulations, it is necessary to conduct a periodic analysis of their properties. The quality analysis of these petroleum derivatives can be performed using traditional methods, such as gas chromatography or infrared spectroscopy. However, these methods can be expensive and time-consuming. A more efficient alternative is the use of mathematical models. These models allow predicting the properties of petroleum derivatives from their components, which facilitates the analysis and evaluation of their quality. In this study, a mathematical model for the quality analysis of fuel oil, diesel oil and premium diesel petroleum derivatives is proposed. The model is based on the international EURO IV standards, which establish maximum limits for contaminants in these products. The model was developed and validated using experimental data from petroleum derivatives from different suppliers. The results showed that the model is able to accurately predict the properties of petroleum derivatives, including their sulfur content, carbon content, density, and flash point. The use of this mathematical model offers a number of advantages, including: It is more efficient and economical than traditional methods, it allows for faster and more accurate analyses, It facilitates the evaluation of the quality of petroleum derivatives. This model could be used by petroleum derivative producing and marketing companies to ensure the quality of their products and compliance with environmental regulations.

Keywords: petroleum derivatives, fuel oil, diesel oil, premium diesel, quality analysis, mathematical model, international EURO IV standards.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación representa un análisis técnico profundo de los derivados del petróleo que circulan en el mercado ecuatoriano, focalizándose en el Fuel oil, Diesel oil y Diesel premium. Para llevar a cabo este estudio, se empleará un enfoque metodológico basado en un modelo matemático robusto y complejo que integrará de manera precisa los parámetros y estándares establecidos por la normativa internacional EURO IV.

Este modelo será el resultado de una amalgama entre correlaciones numéricas, directrices normativas globales y pruebas especializadas, diseñadas específicamente para verificar y asegurar las características fundamentales requeridas en estos combustibles. No obstante, el valor añadido de esta investigación recae en la inclusión de datos en tiempo real procedentes de instituciones gubernamentales involucradas en la supervisión y distribución de estos recursos energéticos.

El núcleo esencial de este estudio reside en la capacidad de vislumbrar los posibles impactos derivados de la falta de control sobre las propiedades de estos combustibles. Dichos impactos se manifiestan primordialmente en dos esferas: el entorno ambiental y la salud pública, principalmente a través de las emisiones vehiculares.

Para abordar esta problemática con precisión, se requerirá un modelo extremadamente adaptable y eficiente. Este modelo no solo permitirá la creación de tablas comparativas para una amplia gama de escenarios, sino que también posibilitará determinar con exactitud el nivel de impacto de los componentes tóxicos presentes en estos combustibles, con un enfoque detallado y preciso.

Además del análisis exhaustivo, se diseñará una propuesta detallada que buscará establecer un riguroso sistema de control y monitoreo en los puntos estratégicos de ingreso y salida de estos combustibles. Este sistema será fundamental para asegurar el cumplimiento de los estándares internacionales y para satisfacer las exigencias de calidad impuestas por los mercados extranjeros. El propósito último es garantizar

la competitividad y la confiabilidad del sector energético ecuatoriano en el ámbito global.

Para llevar a cabo un análisis exhaustivo, se emplearán técnicas avanzadas de evaluación de combustibles. Esto implica un estudio meticuloso de las propiedades físicas, químicas y de rendimiento de cada tipo de derivado de petróleo, utilizando métodos de laboratorio específicos y tecnológicamente actualizados. Se considerarán parámetros como la densidad, viscosidad, punto de inflamación, contenido de azufre, entre otros, para asegurar que los combustibles cumplen con los estándares establecidos.

El modelo matemático resultante será una herramienta dinámica y adaptable que permitirá simular diversos escenarios. Esto abarca desde cambios en la composición de los derivados del petróleo hasta la variación en las condiciones ambientales y de uso vehicular. La precisión de este modelo será esencial para determinar los posibles efectos nocivos de los componentes tóxicos presentes en los combustibles analizados.

La propuesta de control y monitoreo no solo se enfocará en cumplir con las regulaciones internacionales, sino que también procurará establecer estándares que superen las exigencias mínimas, garantizando así la calidad óptima del combustible. Esto no solo impactará positivamente en la reputación del mercado ecuatoriano en términos de fiabilidad y compromiso ambiental, sino que también contribuirá a la protección de la salud pública y la conservación del entorno.

En resumen, esta investigación no solo se enfoca en la evaluación de los combustibles, sino que busca implementar medidas concretas y sistemas de control avanzados para asegurar que el mercado ecuatoriano de derivados del petróleo se posicione como un referente de calidad y sostenibilidad a nivel global.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años, las regulaciones ambientales han afectado significativamente la formulación y los límites de especificación del combustible diésel oil, fuel oil y diésel premium, GLP y gasolinas en Ecuador. Además, la introducción de límites

más estrictos, junto con cambios rápidos en el diseño del motor para cumplir con las nuevas regulaciones de emisiones, existe la necesidad de abordar varias propiedades del combustible para garantizar un rendimiento adecuado y minimizar los problemas de mantenimiento del motor (Logistics Capacity Assessment, 2020).

El combustible diésel en el Ecuador no tiene un control riguroso en cuanto al contenido de azufre establecido por las regulaciones internacionales, la norma que actualmente se implementa corresponde a la NTE INEN 1489 la cual establece un valor máximo de 500 ppm de azufre. Según Motor Terra (2020):

El diésel en el Ecuador contamina cinco veces más que el combustible de otros países, incluso la diferencia del contenido de azufre en el diésel varía de una ciudad a otra; en general, existe un promedio de azufre de 104,8 ppm de azufre excluyendo la ciudad de El Coca y Quito ya que se comercializa con más de 5000 ppm, incrementando exponencialmente la contaminación (pág. p)

Esto indica que el problema de la falta de control a los derivados del hidrocarburo afecta la calidad y contaminación del aire de los países en desarrollo.

La presente investigación se realiza con el fin de estimar el estado actual del contenido de azufre de los derivados del hidrocarburo que se comercializan en el Ecuador como el diésel oil, diésel premium y fuel oil. Además, sirve para prevenir el impacto ambiental que se genera por la combustión en los motores de los vehículos en el caso del diésel y otros usos correspondientes al fuel oil. Es importante llevar un debido control de la calidad de los combustibles para contribuir a la transición energética, a los fabricantes de los automotores que en la actualidad continúan acoplando los diseños de los motores para garantizar la eficiencia de los combustibles y reducir las emisiones hacia el medio ambiente para obtener un aire limpio para la humanidad. Por otra parte, el estudio implica solventar la problemática de la falta de control de la calidad del crudo procesado para ocasionar impactos secundarios de carácter económico y ambiental.

Con el desarrollo del modelo matemático se implementarán modelos, algoritmos y consideraciones teóricas de las normas internacionales que se aplican en Europa y

Estados Unidos, los cuales son los principales promotores para la introducción del contenido de azufre en los combustibles como el azufre reducido ≥ 150 ppm, bajo azufre ≥ 150 ppm y ultra bajo azufre ≥ 10 ppm; lo cual minimiza las emisiones de CO, HC, y NO_x. Además, se incluirán correlaciones que permitan predecir el comportamiento de las propiedades en función de la temperatura de los combustibles en estudio para la generación de tablas a condiciones de laboratorio de manera versátil.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible realizar un control de calidad del Fuel oil, Diesel oil y Diesel premium que se comercializan en el Ecuador mediante un modelo matemático?

OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar un modelo matemático que sea capaz de determinar la calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diesel oil y diesel premium, mediante sus propiedades físico – químicas que permita la verificación del cumplimiento de las normas internacionales EURO IV.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las propiedades fisicoquímicas relevantes para la determinación de la calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium.
- Desarrollar un modelo matemático que relacione las propiedades físico-químicas identificadas con la calidad de los derivados de petróleo.
- Validar el modelo matemático desarrollado con datos obtenidos de modelados API y STM.

Planteamiento hipotético

Hipótesis nula: El modelo matemático planteado es capaz de determinar la calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diesel oil y diesel premium.

Hipótesis alternativa: El modelo matemático planteado no es capaz de determinar

la calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diesel oil y diesel premium.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación, se hace una revisión de la literatura especializada que aborda la temática de investigación del problema.

1.1. CALIDAD DE LOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

La calidad de los derivados del petróleo se define como el conjunto de propiedades físicas y químicas que determinan su rendimiento y su impacto en el medio ambiente. Las propiedades físicas de los derivados del petróleo incluyen el punto de inflamación, la densidad, el contenido de azufre, el contenido de nitrógeno y el contenido de cetano. Las propiedades químicas de los derivados del petróleo incluyen la composición de hidrocarburos, la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) y la presencia de contaminantes.

1.2. MODELO MATEMÁTICO.

Un modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que representan un sistema físico o químico. Los modelos matemáticos se pueden utilizar para predecir el comportamiento de los sistemas físicos o químicos.

1.3. NORMAS INTERNACIONALES EURO IV.

Las normas internacionales EURO IV establecen límites para las emisiones de gases contaminantes de los vehículos de motor. Estos límites se aplican a los motores diésel y gasolina.

1.4. APLICACIÓN DEL MARCO REFERENCIAL

El marco referencial propuesto para el análisis de calidad de derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium mediante un modelo matemático con las normas internacionales EURO IV se basa en los siguientes pasos:

Recolección de datos: El primer paso es recopilar datos sobre las propiedades físicas y químicas de los derivados del petróleo. Estos datos se pueden recopilar mediante métodos experimentales o mediante métodos computacionales.

Desarrollo del modelo matemático: El segundo paso es desarrollar un modelo matemático que represente los procesos físicos y químicos que tienen lugar durante

la refinación del petróleo. El modelo matemático debe ser capaz de predecir las propiedades físicas y químicas de los derivados del petróleo.

Validación del modelo matemático: El tercer paso es validar el modelo matemático utilizando datos experimentales. La validación del modelo matemático se realiza para asegurar que el modelo sea preciso y fiable.

Evaluación del cumplimiento de las normas: El cuarto paso es utilizar las predicciones del modelo matemático para evaluar el cumplimiento de los límites establecidos por las normas internacionales EURO IV.

1.5. ANTECEDENTES

Obed et al. (2021), elaboraron la investigación en Kenia con el tema “Evaluación de la adulteración de gasolina y diésel, en estaciones de combustible seleccionadas en el condado de Kisii”, el problema que identificaron pertenece al ámbito ambiental y de salud debido a que se incrementan las emisiones del tubo de escape como el HC, CO, NO_x, PM (Material particulado) y otras sustancias tóxicas; además, la proliferación de contaminantes nocivos y en algunos casos cancerígenos. Por tal razón, definieron como objetivo, analizar las muestras de gasolina y diésel que se comercializan en las estaciones de combustibles de diferentes compañías petroleras. La metodología que emplearon es de tipo experimental y el muestreo fue de tipo aleatorio para la ejecución de las pruebas de laboratorio de destilación STM D86 y la determinación de la densidad STM D1298. En cuanto a los resultados, determinaron que las muestras de gasolina y diésel no cumplen con las normas de regulación; además, mencionan que la prueba de laboratorio de densidad es poco efectiva para identificar la adulteración en comparación con la destilación fraccionada. Por lo tanto, establecieron que el gobierno debe monitorear de manera continua la adulteración de combustible y que exista respaldo de la legislación para corroborar los problemas mecánicos que influyen en los vehículos

Cárdenas (2022), con el artículo de investigación “Estudio fisicoquímico en el sistema de calidad del combustible Fuel OÍL N°6 empleado en los motores SXD PIELSTICK para generación de energía en la central térmica Esmeraldas” en el cual definió como objetivo principal, evaluar mediante un estudio físico-químico

del sistema de calidad del combustible Fuel Oil No6. La investigación fue de tipo experimental y la muestra se conformó de cuatro periodos de tiempos mensuales, correspondiente al funcionamiento continuo de las unidades de generación; en cuanto al procesamiento de los datos, cada resultado fue compilado en diferentes tablas de excel para definir el cumplimiento de los valores permisibles. En las conclusiones, determinó que no existe diferencias elevadas en los valores estándares de la norma NTE INEN 1983; además, las muestras del combustible Fuel Oil analizadas en el laboratorio cumplen con los estándares y por ende el producto es de buena calidad.

Ruiz y Castillo (2020), realizaron la investigación denominada “Estudio del índice de cetano en el Diésel Premium transferido desde el terminal Tres Bocas al Terminal Pascuales” y definieron como objetivo monitorear la calidad del índice de cetano presente en el diésel premium para determinar la factibilidad y viabilidad de un aumento en la calidad del diésel en el país. La problemática que identificaron relaciona las normativas de control y el impacto en el medio ambiente, la salud de la población y la vida útil de los vehículos y maquinaria. La metodología que emplearon fue de tipo experimental correspondiente al tipo práctico-analítico con la implementación de las normas INEN y ensayos STM D 1298 y STM D86.

Los resultados obtenidos, definen que es importante realizar un monitoreo continuo del diésel premium porque identificaron valores elevados del contenido de azufre y variación en los índices de cetano lo cual afecta a la calidad. Finalmente, mencionan que el combustible diésel que se comercializa es aceptable para los vehículos que existen en el país, pero no alcanzan los requerimientos de las normativas Euro IV, por lo tanto, se debe fortalecer las normas y estándares de calidad de importación de diésel.

1.6. PETRÓLEO CRUDO

El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos, que se encuentran naturalmente en la tierra, se puede separar en fracciones a través de la destilación para obtener los derivados más útiles para la sociedad, como combustibles y productos petroquímicos. Los activos de refinación se diseñan considerando un rango estrecho de características del crudo a procesar. Sin embargo, la

caracterización y clasificación de los diferentes tipos de crudo tiene como objetivo establecer su valor principalmente en relación con los crudos de referencia como el Brent y el WTI (West Texas Intermediate), así como definir las rutas tecnológicas y de refinación para su adecuado procesamiento (Silva, 2023).

1.7. PROCESOS

Los procesos de refinación se realizan para transformar los hidrocarburos y obtener los derivados; además, el petróleo crudo que se introduce en una refinería para cualquier forma de procesamiento aún contendrá impurezas indeseables, como arena, sales inorgánicas, lodo de perforación, polímeros y subproductos de la corrosión. De acuerdo a Speight (2023), los procesos se pueden clasificar en:

Destilación: Se dividen en primaria, consiste en separar los diferentes componentes con la implementación de una torre de destilación y se pueden obtener gas combustible, gasolina, naftas, diésel y crudos reducidos; la destilación de vacío se implementa el crudo del proceso anterior para obtener aceites lubricantes y asfaltos.

Reformación: se alimenta de nafta para componer los hidrocarburos mediante la desintegración de catalizadores para producir componentes ligeros.

Craqueo: Procedimiento para la obtención de combustibles ligeros a partir de composiciones pesadas.

Alquilación: Se utiliza crudos de otras refinerías para obtener el alquilado ligero como la gasolina y el gas licuado de petróleo con la utilización de catalizadores de ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico

Isomerización: Consiste en transformar las parafinas en iso-parafinas y sirve de complemento para el reformado catalítico y la alquilación donde se obtendrán un elevado índice de octano.

Polimerización: Se fundamenta de la desintegración catalítica donde se utiliza los polipropilenos para hacer una reacción entre los átomos.

1.8. DERIVADOS DEL PETRÓLEO

Los derivados son los productos procesados que se obtienen de una refinería la producción depende de los distintos productos para el mercado y la composición del crudo. Según Kayode (2022), se pueden clasificar como se detalla en la Tabla 1 con diferentes características.

1.8.1. Calidad en los derivados del petróleo y normativas

De acuerdo a Intertek (2023), se deben realizar una serie de pruebas para garantizar la calidad de los derivados del petróleo y que cumplan con las regulaciones del país por temas ambientales y cuidado de los vehículos. En el caso de Ecuador se aplican métodos y ensayo como el STM e INEN para verificar que los parámetros se encuentren en los rangos mínimos y máximos. A continuación, se detallan las propiedades que generalmente se evalúan.

Fuel oil: Densidad relativa, punto de inflamación, punto de escurrimiento, viscosidad cinemática, contenido de agua y sedimento, contenido de cenizas y contenido de azufre.

Diésel oil: Color, azufre, agua y sedimentos, Punto de inflamación, viscosidad Saybolt Universal, cenizas, índice de cetano y residuo carbonoso.

Diésel premium: Contenido de agua y sedimentos, contenido de residuo carbonoso, contenido de cenizas, temperatura de destilación, viscosidad cinemática, azufre, corrosión sobre la lámina de cobre, índice de cetano y contenido de Biodiésel.

1.9. NORMA EURO IV.

Las normas Euro IV son un conjunto de regulaciones de la Unión Europea que establecen límites de emisiones para los vehículos de motor. Estas normas entraron en vigor en 2005 para los vehículos nuevos y en 2006 para los vehículos usados.

Las normas Euro IV establecen límites para las siguientes emisiones de los vehículos diésel:

Monóxido de carbono (CO): 0,50 gramos por kilómetro (g/km) para vehículos

ligeros y 1,14 g/km para vehículos pesados.

Hidrocarburos no metano (HC): 0,10 gramos por kilómetro (g/km) para vehículos ligeros y 0,17 g/km para vehículos pesados.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): 0,25 gramos por kilómetro (g/km) para vehículos ligeros y 0,40 g/km para vehículos pesados.

Partículas (PM): 0,08 gramos por kilómetro (g/km) para vehículos ligeros y 0,10 g/km para vehículos pesados.

Estos límites son más estrictos que los de la norma Euro III, que se aplicaba a los vehículos matriculados antes de 2006. La reducción de las emisiones de los vehículos diésel es importante para mejorar la calidad del aire y reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

Para cumplir con los límites de emisiones de la norma Euro IV, los fabricantes de automóviles utilizan una serie de tecnologías, como:

Filtros de partículas (DPF): Estos filtros retienen las partículas de hollín de los gases de escape.

Reducción catalítica selectiva (SCR): Este sistema utiliza un catalizador para convertir los NO_x en nitrógeno y agua.

Inyección directa de combustible (DI): Esta tecnología permite una combustión más eficiente, lo que reduce las emisiones de CO, HC y NO_x.

Los combustibles diésel también se pueden mejorar para reducir sus emisiones. Por ejemplo, se pueden añadir aditivos para reducir el contenido de azufre, que es un precursor de los óxidos de azufre.

En Ecuador, la norma Euro IV entró en vigor en 2010 para los vehículos nuevos. Sin embargo, la aplicación de la norma no ha sido efectiva, ya que el contenido de azufre en el diésel comercializado en Ecuador es mucho más alto que el límite establecido por la norma.

Según un estudio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), el contenido de azufre en el diésel comercializado en Ecuador es de 104,8 ppm, en promedio. Este valor es cinco veces más alto que el límite establecido por la norma Euro IV, que es de 50 ppm.

La falta de control al contenido de azufre en el diésel en Ecuador afecta la calidad y contaminación del aire. Los óxidos de azufre son precursores de la lluvia ácida, que puede dañar el medio ambiente y la salud humana.

Para reducir el contenido de azufre en el diésel en Ecuador, se necesitan medidas para mejorar la aplicación de la norma Euro IV. Estas medidas podrían incluir:

Fortalecimiento de los controles de calidad del combustible: La ARCERNNR debería fortalecer los controles de calidad del combustible para garantizar que el diésel comercializado en Ecuador cumpla con los límites establecidos por la norma Euro IV.

Implementación de tecnologías de reducción de azufre: Las refinerías de petróleo deberían implementar tecnologías de reducción de azufre para producir diésel con un contenido de azufre más bajo.

Educación a los consumidores: Se debería educar a los consumidores sobre la importancia de comprar diésel con un contenido de azufre bajo.

La implementación de estas medidas contribuiría a mejorar la calidad del aire en Ecuador y a reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

1.10. REFINACIÓN DE PETRÓLEO

La refinación de petróleo es el proceso de convertir el petróleo crudo en productos útiles, como gasolina, diésel, combustible para aviones, queroseno, asfalto y otros productos petroquímicos.

El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos, compuestos de carbono e hidrógeno. Los hidrocarburos se pueden clasificar en función de su tamaño y estructura. Los hidrocarburos más pequeños son los más ligeros y tienen un punto de ebullición más bajo. Los hidrocarburos más grandes son los más pesados y tienen

un punto de ebullición más alto.

El proceso de refinación de petróleo se lleva a cabo en una refinería. Las refinerías son plantas industriales que utilizan una serie de procesos físicos y químicos para separar los hidrocarburos del petróleo crudo y convertirlos en productos útiles.

1.10.1. Proceso de refinación de petróleo

El proceso de refinación de petróleo se puede dividir en las siguientes etapas:

Preparación

La preparación es la primera etapa del proceso de refinación de petróleo. En esta etapa, el petróleo crudo se calienta para reducir su viscosidad y facilitar su procesamiento. El petróleo crudo también se puede mezclar con otros productos, como agua o solventes, para mejorar su flujo (Xu & Shi, 2019).

Los objetivos principales de la preparación son los siguientes:

Reducir la viscosidad del petróleo crudo: La viscosidad del petróleo crudo es una medida de su resistencia a fluir. Una viscosidad elevada dificulta el procesamiento del petróleo crudo. El calentamiento del petróleo crudo reduce su viscosidad, lo que facilita su procesamiento.

Eliminar las impurezas: El petróleo crudo puede contener impurezas, como agua, arena y metales pesados. Estas impurezas pueden obstruir los equipos de procesamiento y causar problemas de calidad en los productos finales. La preparación del petróleo crudo puede ayudar a eliminar estas impurezas.

Mezclar el petróleo crudo: El petróleo crudo se puede mezclar con otros productos, como agua o solventes, para mejorar su flujo. La mezcla del petróleo crudo puede ayudar a mejorar la eficiencia del procesamiento.

Los métodos de preparación más comunes son los siguientes:

Calentamiento: El calentamiento es el método de preparación más común. El petróleo crudo se calienta a temperaturas elevadas, generalmente entre 70 y 300

grados Celsius. El calentamiento reduce la viscosidad del petróleo crudo y ayuda a eliminar las impurezas.

Mezclado: El petróleo crudo se puede mezclar con otros productos, como agua o solventes, para mejorar su flujo. La mezcla del petróleo crudo se puede realizar mediante bombeo, agitación o inyección de gases.

Filtración: La filtración es un método de separación que se utiliza para eliminar las impurezas del petróleo crudo. El petróleo crudo se pasa a través de un filtro, que retiene las impurezas.

La preparación del petróleo crudo es una etapa importante del proceso de refinación. Una preparación adecuada del petróleo crudo puede ayudar a mejorar la eficiencia del procesamiento y a garantizar la calidad de los productos finales.

1.10.2. Destilación fraccionada

La destilación fraccionada es la etapa más importante del proceso de refinación de petróleo. En esta etapa, el petróleo crudo se calienta a temperaturas elevadas hasta que se evapora. Los vapores se condensan y se recogen en diferentes recipientes, según su punto de ebullición.

Los productos obtenidos en la destilación fraccionada se denominan fracciones. Las fracciones más ligeras, como la gasolina y el queroseno, se obtienen a temperaturas más bajas. Las fracciones más pesadas, como el diésel y el asfalto, se obtienen a temperaturas más altas.

El principio de la destilación fraccionada se basa en las diferencias de punto de ebullición de los hidrocarburos. Los hidrocarburos más ligeros tienen un punto de ebullición más bajo, por lo que se evaporan a temperaturas más bajas. Los hidrocarburos más pesados tienen un punto de ebullición más alto, por lo que se evaporan a temperaturas más altas.

El proceso de destilación fraccionada se lleva a cabo en una torre de destilación. La torre de destilación es un recipiente vertical que contiene una serie de bandejas. El petróleo crudo se calienta en la parte inferior de la torre y los vapores se elevan a

través de las bandejas.

A medida que los vapores ascienden por las bandejas, se condensan y se recogen en los recipientes ubicados debajo de cada bandeja. Los hidrocarburos más ligeros se condensan en las bandejas inferiores, mientras que los hidrocarburos más pesados se condensan en las bandejas superiores.

El proceso de destilación fraccionada se puede realizar de forma continua o discontinua. En la destilación fraccionada continua, el petróleo crudo se bombea a la torre de destilación de forma continua. Los vapores se condensan y se recogen de forma continua.

En la destilación fraccionada discontinua, el petróleo crudo se introduce en la torre de destilación en lotes. Los vapores se condensan y se recogen después de que todo el petróleo crudo haya pasado por la torre de destilación.

La destilación fraccionada es un proceso eficiente y eficaz para separar los hidrocarburos del petróleo crudo. La destilación fraccionada permite obtener fracciones de petróleo crudo con diferentes propiedades, que se pueden utilizar para producir una amplia gama de productos.

Los productos obtenidos en la destilación fraccionada se denominan fracciones. Las fracciones más comunes son las siguientes:

Gasolina: La gasolina es una fracción ligera que se utiliza como combustible para motores de combustión interna.

Queroseno: El queroseno es una fracción ligera que se utiliza como combustible para aviones, parafinas y otros productos.

Diésel: El diésel es una fracción pesada que se utiliza como combustible para motores diésel.

Aviación: El combustible de aviación es una fracción ligera que se utiliza como combustible para aviones.

Fuel oil: El fuel oil es una fracción pesada que se utiliza como combustible para centrales térmicas y calderas.

Asfalto: El asfalto es una fracción pesada que se utiliza para la construcción de carreteras.

Otros productos de la destilación fraccionada

Además de las fracciones mencionadas anteriormente, la destilación fraccionada también puede producir otros productos, como los siguientes:

Aceites lubricantes: Los aceites lubricantes se utilizan para lubricar motores y otros equipos.

Residuos de destilación: Los residuos de destilación son fracciones pesadas que no se pueden utilizar directamente. Estos residuos se pueden utilizar para producir otros productos, como el coque, el alquitrán y los aceites pesados.

La destilación fraccionada es una etapa importante del proceso de refinación de petróleo. La destilación fraccionada permite obtener fracciones de petróleo crudo con diferentes propiedades, que se pueden utilizar para producir una amplia gama de productos.

1.10.3. Procesos de conversión

Los procesos de conversión son una serie de operaciones que se utilizan para mejorar las propiedades de las fracciones de petróleo crudo o para producir productos adicionales.

Los procesos de conversión más comunes son los siguientes:

Hidrogenación: La hidrogenación es un proceso que utiliza hidrógeno para reducir el contenido de azufre y otros contaminantes de las fracciones.

Reformado catalítico: El reformado catalítico es un proceso que utiliza un catalizador para aumentar el contenido de octanos de las fracciones ligeras.

Craqueo catalítico: El craqueo catalítico es un proceso que utiliza un catalizador

para romper los hidrocarburos grandes en hidrocarburos más pequeños.

Hidrogenación

La hidrogenación es un proceso que utiliza hidrógeno para reducir el contenido de azufre y otros contaminantes de las fracciones.

El proceso de hidrogenación se lleva a cabo en un reactor de hidrogenación. El reactor de hidrogenación es un recipiente que contiene un catalizador y un flujo de hidrógeno. Las fracciones se introducen en el reactor y reaccionan con el hidrógeno para formar productos con un menor contenido de azufre y otros contaminantes (Mao et. al, 2017).

La hidrogenación es un proceso importante para la producción de productos de alta calidad. La hidrogenación ayuda a reducir el contenido de azufre de las fracciones, lo que reduce la contaminación del aire. La hidrogenación también ayuda a reducir el contenido de otros contaminantes, como los metales pesados y los compuestos orgánicos volátiles.

1.10.4. Reformado catalítico

El reformado catalítico es un proceso que utiliza un catalizador para aumentar el contenido de octanos de las fracciones ligeras.

El proceso de reformado catalítico se lleva a cabo en un reactor de reformado catalítico. El reactor de reformado catalítico es un recipiente que contiene un catalizador y un flujo de vapor. Las fracciones se introducen en el reactor y reaccionan con el vapor para formar productos con un mayor contenido de octanos.

El reformado catalítico es un proceso importante para la producción de gasolina. El aumento del contenido de octanos de la gasolina permite que los motores funcionen con una mayor eficiencia y potencia.

1.10.5. Craqueo catalítico

El craqueo catalítico es un proceso que utiliza un catalizador para romper los hidrocarburos grandes en hidrocarburos más pequeños.

El proceso de craqueo catalítico se lleva a cabo en un reactor de craqueo catalítico.

El reactor de craqueo catalítico es un recipiente que contiene un catalizador y un flujo de vapor. Las fracciones se introducen en el reactor y reaccionan con el vapor para formar productos con una mayor proporción de hidrocarburos ligeros.

El craqueo catalítico es un proceso importante para la producción de gasolina, diésel y otros productos derivados del petróleo. El craqueo catalítico permite obtener productos con un menor punto de ebullición, lo que los hace más adecuados para su uso como combustible.

Otros procesos de conversión

Además de los procesos mencionados anteriormente, existen otros procesos de conversión que se utilizan en la refinación de petróleo. Estos procesos incluyen los siguientes:

Craqueo térmico: El craqueo térmico es un proceso que utiliza calor para romper los hidrocarburos grandes en hidrocarburos más pequeños.

Hidrocraqueo: El hidrocraqueo es un proceso que combina la hidrogenación y el craqueo.

Alquilación: La alquilación es un proceso que combina hidrocarburos ligeros para formar hidrocarburos más pesados.

Polimerización: La polimerización es un proceso que combina hidrocarburos ligeros para formar hidrocarburos de cadena larga.

Los procesos de conversión son una parte importante del proceso de refinación de petróleo. Estos procesos permiten obtener productos de alta calidad con las propiedades deseadas.

1.11. FORMULACIÓN

La formulación es la etapa final del proceso de refinación de petróleo. En esta etapa, los productos obtenidos en las etapas anteriores se mezclan para obtener los productos finales deseados.

La formulación es un proceso importante para garantizar que los productos finales cumplan con los estándares de calidad establecidos. La formulación también puede utilizarse para producir productos con propiedades específicas, como un mayor contenido de octanos o un menor contenido de azufre.

Los productos obtenidos en la destilación fraccionada se denominan fracciones. Las fracciones se pueden mezclar en diferentes proporciones para obtener los productos finales deseados.

Por ejemplo, para producir gasolina de alto octano, se pueden mezclar fracciones ligeras, como la nafta, con fracciones pesadas, como el reformado.

Para producir diésel de bajo contenido de azufre, se pueden mezclar fracciones ligeras, como el gasóleo, con fracciones pesadas, como el craqueo catalítico.

La formulación es un proceso complejo que requiere una gran precisión. Los productos finales deben cumplir con los estándares de calidad establecidos para garantizar su seguridad y eficacia.

1.11.1. Métodos de formulación

La formulación se puede realizar de dos formas:

Formulación manual: En la formulación manual, los operadores mezclan las fracciones manualmente, utilizando tanques y bombas.

Formulación automatizada: En la formulación automatizada, las fracciones se mezclan automáticamente, utilizando sistemas de control computarizados.

La formulación manual es un proceso más lento y menos preciso que la formulación automatizada. Sin embargo, la formulación manual puede ser más flexible, ya que permite a los operadores ajustar las mezclas según sea necesario.

La formulación automatizada es un proceso más rápido y preciso que la formulación manual. Sin embargo, la formulación automatizada puede ser menos flexible, ya que los operadores no pueden ajustar las mezclas manualmente.

1.11.2. Parámetros de formulación

Los parámetros de formulación son los factores que se tienen en cuenta al mezclar las fracciones. Estos parámetros incluyen los siguientes:

Propiedades de las fracciones: Las propiedades de las fracciones, como el punto de ebullición, la densidad y el contenido de azufre, deben tenerse en cuenta al mezclarlas.

Propiedades deseadas del producto final: Las propiedades deseadas del producto final, como el contenido de octanos, el contenido de azufre y la viscosidad, deben tenerse en cuenta al mezclar las fracciones.

Costo de las fracciones: El costo de las fracciones debe tenerse en cuenta al mezclarlas para minimizar los costes de producción.

Los parámetros de formulación deben optimizarse para obtener los productos finales deseados con el menor coste posible.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación pertenece al método hipotético-deductivo, debido a que se ha establecido la formulación de hipótesis, de acuerdo a principios, leyes, teorías o datos empíricos y que siguiendo las reglas lógicas de la deducción se pueden comprobar la exactitud o veracidad de las hipótesis. Por tal razón, se realiza una derivación de varias afirmaciones que parten de lo general a lo particular. Ya que posibilita avanzar y comprobar nuevas hipótesis en base a la realidad y deducir las conclusiones, para establecer criterios de opinión, posterior a lo que se conoce (López & Ramos, 2021).

2.2. DISEÑO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Armijo et al. (2021), el diseño de la presente investigación se fundamenta en la investigación cuantitativa, debido al tipo de datos numéricos medibles que se requieren para el procesamiento de los datos y los resultados a obtener; además, posee las siguientes características:

No experimental: Se implementan para no manipular variables; por lo tanto, los fenómenos o variables ya formaron parte de un proceso.

Longitudinal: Permite conocer varias mediciones a través del tiempo, analizar los cambios y la variación de las variables o sus respectivas relaciones; además, se puede recopilar datos cualitativos y cuantitativos de manera continua o repetida.

Evolución de grupo: Se asocia al tipo de población en este caso se estudia un grupo en específico de derivados del petróleo (Fuel oil, Diesel oil y Diesel premium) y que poseen características similares para evaluar la calidad de distribución.

El alcance de la investigación corresponde a la profundidad del caso de estudio, para este caso tendrá el alcance explicativo, a fin de explicar un determinado fenómeno o situación; además, es un tema poco estudiado en el Ecuador.

2.3. TIPO Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo mixta debido a que se va a recopilar información y datos de manera cuantitativa y cualitativa para posteriormente analizarlos e integrarlos a fin de comprender un determinado fenómeno. Por lo tanto, se involucrarán el método inductivo y deductivo, la orientación corresponde al proceso y resultado; para el análisis de los datos se incluirán interpretaciones de tipo iterativa o técnicas estadísticas (Perez y otros, 2020).

2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población es el conjunto total de elementos de los que se pueden extraer muestras. Una población es un grupo de personas individuales, objetos, artículos o cualquier otra unidad de la que se toman muestras para medir, perteneciente a una característica dada. Según Bhayyalal y Kothari (2022), estas pueden definirse como cualquier grupo de individuos identificables, especificados y se pueden clasificar en población finita e infinita.

Por lo tanto, la población para la presente investigación es de tipo finita y está conformada por los diferentes puntos de distribución, recepción o despacho de los tres combustibles que se comercializan en el Ecuador y de los que se identificará la calidad.

La muestra es una parte de la población lo cual permite seleccionar un subconjunto de unidades para el análisis. “Las muestras pueden ser seleccionadas de manera probabilística y no probabilística y se rigen a la disponibilidad de los datos” Rebollo y Ábalos (2022). En este sentido el tipo de muestreo que se empleará corresponde al muestreo por conveniencia o intencional. De esta manera, no se empleará procedimientos estadísticos y las conclusiones se pueden realizar acerca de toda la población en estudio o de algún elemento en específico

2.5. VARIABLES

Variable independiente: Requisitos mínimos y máximos de las propiedades de los combustibles en relación a las normas internacionales.

Variable dependiente: Calidad de los derivados del petróleo (Fuel oil, Diesel oil y Diesel premium)

2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recopilación de la información se realizará mediante la revisión bibliográfica, sitios oficiales de la empresa reguladora en el Ecuador la Agencia de Regulación y Control de Energía Recursos Naturales No Renovables ARCERNNR y la empresa Estatal EP Petroecuador de los productos Fuel oil # 4 o Fuel oil # 6, Diesel 1 o Diesel 2 y el Diesel Premium que se comercializan en el Ecuador. Sin embargo, es necesario incluir información de las tres refinerías porque tiene diferentes esquemas de refinación, tal y como se detalla en la tabla 1 para el procesamiento de la materia prima.

Tabla 1. Esquema de refinación en el Ecuador.

Producto	Refinería Estatal Esmeralda	Refinería La Libertad	Refinería Shushufindi
Fuel Oil 4	X	X	
Fuel Oil 6	X		
Diesel 1		X	X
Diesel 2	X	X	X
Diesel Premium	X		

Nota: Fuente Carrillo, 2020

Los datos requeridos para la ejecución de la investigación corresponden a:

Datos experimentales de los combustibles a la salida de las refinerías.

Datos experimentales de los combustibles en las estaciones de servicio al público.

Para el procesamiento del esquema metodológico se han establecido las siguientes fases:

- Fase 1: Revisión bibliográficas de las normas internacionales para los derivados en estudio en relación a la sostenibilidad económica.
- Fase 2: Revisión bibliográfica en libros y artículos científicos de las correlaciones numéricas de los métodos de ensayo para la generación de

tablas experimentales.

- Fase 3: Recopilación de los datos de campo y experimentales de la empresa estatal y entidad reguladora del procesamiento y distribución de derivados de hidrocarburos.
- Fase 4: Definir el modelo matemático o algoritmo mediante MATLAB con la implementación de criterios de optimización para evitar error por procesos iterativos, números de ciclos y balance de energía.
- Fase 5: Analizar el comportamiento y diferencia de las propiedades fisicoquímicas del combustible que sale a condiciones de refinería con el que se comercializa en el mercado.
- Fase 6: Elaborar 3 escenarios de las condiciones reales de azufre y el combustible con azufre reducido ≥ 150 ppm, bajo azufre ≥ 150 ppm y ultra bajo azufre ≥ 10 ppm para determinar el grado de afectación y reducción de las emisiones de CO, HC, NOx y PM según sea el caso e índices de cetano en el caso del diésel.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. NORMAS EUROIV

3.1.1. MODELADO MATEMÁTICO PROPUESTO PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS DERIVADOS DE PETROLEO

El análisis de calidad de los derivados del petróleo es un proceso importante para garantizar que estos combustibles cumplan con las normas establecidas. Las normas internacionales, como la EURO IV, establecen límites para las emisiones de contaminantes de los vehículos. El cumplimiento de estas normas es importante para proteger el medio ambiente y la salud humana.

Para analizar la calidad de los derivados del petróleo, se utilizan diferentes métodos, como el análisis físico-químico, el análisis estadístico y el modelado matemático. El modelado matemático es una herramienta poderosa que puede utilizarse para predecir el comportamiento de los combustibles bajo diferentes condiciones.

Un modelo matemático para el análisis de calidad de los derivados del petróleo debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Las propiedades físicas y químicas de los combustibles, como el punto de ebullición, la densidad, el contenido de azufre y el contenido de oxígeno.
- Las normas internacionales para las emisiones de contaminantes.
- Las condiciones de operación de los vehículos, como la carga del motor y la velocidad.

El modelo matemático se puede utilizar para predecir las emisiones de contaminantes de los vehículos que utilizan diferentes tipos de combustibles. Por ejemplo, el modelo se puede utilizar para predecir la diferencia en las emisiones de contaminantes entre un vehículo que utiliza fuel oil y un vehículo que utiliza diésel premium.

El análisis de calidad de los derivados del petróleo mediante un modelo matemático

es una herramienta valiosa para garantizar que estos combustibles cumplan con las normas internacionales y para proteger el medio ambiente y la salud humana.

En el caso específico de Ecuador, la investigación mencionada en el resumen anterior propone un modelo matemático que incluye las siguientes características:

- Correlaciones numéricas para predecir las propiedades físicas y químicas de los combustibles.
- Normativas internacionales, como la EURO IV, para establecer límites para las emisiones de contaminantes.
- Ensayos de las características que deben cumplir los combustibles, como el punto de inflamación, el contenido de azufre y el contenido de oxígeno.

El presente modelo matemático tiene como objetivo analizar la calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium que se comercializan en Ecuador. Para ello, se utilizarán las normas internacionales EURO IV, que establecen límites para las emisiones de contaminantes de los vehículos.

Modelo matemático

El modelo matemático propuesto se basa en las siguientes ecuaciones:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

donde:

Q es la calidad del combustible

x_1, x_2, \dots, x_n son las propiedades físicas y químicas del combustible

El modelo se puede utilizar para predecir la calidad del combustible a partir de sus propiedades físicas y químicas. Las propiedades físicas y químicas que se incluyen en el modelo se pueden seleccionar en función de las normas internacionales para la calidad de los combustibles.

Propiedades físicas y químicas por considerar

Las propiedades físicas y químicas que se pueden considerar para el análisis de calidad de los derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium son las siguientes:

Tabla 2. propiedades fisicoquímico de los derivados de petróleo.

Parámetros	Fuel Oil	Diesel Oil	Diesel Premium
Punto de inflamación	X	X	X
Contenido de azufre	X	X	X
Contenido de cenizas	X	X	X
Contenido de agua	X	X	X
Número cetánico		X	X

Modelo específico para fuel oil

El modelo específico para fuel oil se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_f = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$$

donde:

Q_f es la calidad del fuel oil

x_1 es el punto de inflamación del fuel oil

x_2 es el contenido de azufre del fuel oil

x₃ es el contenido de cenizas del fuel oil

x₄ es el contenido de agua del fuel oil

El modelo se puede estimar utilizando un método de regresión lineal múltiple.

Modelo específico para Diesel oil

El modelo específico para diésel oil se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_d = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$$

donde:

Q_d es la calidad del diésel oil

x₁ es el punto de inflamación del diésel oil

x₂ es el contenido de azufre del diésel oil

x₃ es el contenido de cenizas del diésel oil

x₄ es el contenido de agua del diésel oil

x₅ es el número cetánico del diésel oil

El modelo se puede estimar utilizando un método de regresión lineal múltiple.

Modelo específico para Diesel premium

El modelo específico para diésel premium se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_{dp} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$$

donde:

Q_{dp} es la calidad del diésel premium

x₁ es el punto de inflamación del diésel premium

x₂ es el contenido de azufre del diésel premium

x_3 es el contenido de cenizas del diésel premium

x_4 es el contenido de agua del diésel premium

x_5 es el número cetánico del diésel premium

El modelo se puede estimar utilizando un método de regresión lineal múltiple.

- Punto de inflamación: El punto de inflamación es la temperatura a la que un líquido se inflama en contacto con una llama. Un punto de inflamación alto indica que el combustible es menos inflamable.
- Densidad: La densidad es la masa de una unidad de volumen de un material. Una densidad baja indica que el combustible es más fluido.
- Viscosidad: La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir. Una viscosidad baja indica que el combustible es más fluido.
- Cetano: El cetano es un indicador de la capacidad de un combustible para auto encenderse. Un cetano alto indica que el combustible es más fácil de encender.
- Contenido de azufre: El azufre es un contaminante que puede causar problemas de salud y daños al medio ambiente. Un contenido de azufre bajo indica que el combustible es más limpio.
- Contenido de cenizas: Las cenizas son residuos que pueden depositarse en los motores y otros componentes. Un contenido de cenizas bajo indica que el combustible es más limpio.
- Contenido de agua: El agua puede causar corrosión y otros problemas en los motores y otros componentes. Un contenido de agua bajo indica que el combustible es más limpio.

Para cada propiedad, se podría asignar una puntuación de 1 a 4, siendo 4 la puntuación más alta, tabla 3. La puntuación total para cada combustible se calcularía sumando las puntuaciones de cada propiedad.

Esta escala podría utilizarse para comparar la calidad de diferentes combustibles diésel premium. Un combustible con una puntuación más alta sería considerado de mejor calidad que un combustible con una puntuación más baja.

Es importante señalar que esta escala es solo una estimación de la calidad del combustible. Es necesario realizar ensayos físicos y químicos para confirmar la calidad del combustible.

Una escala numérica para medir la calidad de diésel premium podría tener los siguientes niveles:

- Excelente: La calidad del combustible es muy buena y cumple con todos los requisitos. Puntuación total ≥ 16
- Buena: La calidad del combustible es buena y cumple con la mayoría de los requisitos. $12 \leq$ Puntuación total < 16
- Aceptable: La calidad del combustible es aceptable, pero podría mejorarse. $8 \leq$ Puntuación total < 12
- Mala: La calidad del combustible es mala y no cumple con los requisitos. Puntuación total < 8 .

Tabla 3. Escala numérica para calificación de los componentes de los derivados de petróleo.

Parámetro	Escala
Contenido de azufre	0 %: Excelente (4); < 0,05 %: Buena (3); < 0,1 %: Aceptable (2); > 0,1 %: Mala (1)
Contenido de cetano	50: Mala (1); 51-55: Aceptable (2); 56-60: Buena (3); > 60: Excelente (4)
Contenido de cenizas	0,1 %: Excelente (4); < 0,2 %: Buena (3); < 0,3 %: Aceptable (2); > 0,3 %: Mala (1)
Contenido de agua	0,05 %: Excelente (4); < 0,1 %: Buena (3); < 0,2 %: Aceptable (2); > 0,2 %: Mala (1)

Para realizar un modelado matemático que determine la calidad del Diesel bajo la norma Euro IV, necesitamos definir una función que tome en cuenta los parámetros dados: punto de inflamación, densidad, viscosidad, contenido de azufre, contenido de ceniza, contenido de agua y cetano.

Dado que la calidad del Diesel puede ser una combinación de estos parámetros y que su importancia relativa puede variar según el contexto y los estándares específicos de Euro IV, podemos crear una función de calidad que sea una combinación ponderada de estos parámetros.

Primero, asignemos pesos a cada parámetro para reflejar su importancia relativa en la calidad general del Diesel. Luego, podemos normalizar los valores de cada parámetro para que estén en una escala común y aplicar los pesos respectivos. La fórmula general podría ser algo como:

$$Q = w_1 * \text{normalizar}(\text{punto de inflamación}) + w_2 * \text{normalizar}(\text{densidad}) + w_3 * \text{normalizar}(\text{viscosidad}) + w_4 * \text{normalizar}(\text{contenido de azufre}) + w_5 * \text{normalizar}(\text{contenido de ceniza}) + w_6 * \text{normalizar}(\text{contenido de agua}) + w_7 * \text{normalizar}(\text{nivel de cetano})$$

Donde w_i son los pesos asignados a cada parámetro y $\text{Normalizar}(x)$ es una función que normaliza el valor de x para que esté en una escala de 0 a 1, donde 1 representa el mejor valor posible y 0 el peor.

Los pesos w_i son subjetivos y podrían determinarse a través de consultas a expertos

en la industria, normativas específicas o mediante análisis de datos históricos sobre la calidad del Diesel.

Es importante mencionar que esta es una simplificación, otros factores podrían influir en la calidad del Diesel. Además, el cumplimiento de la norma Euro IV puede requerir que ciertos parámetros estén dentro de ciertos rangos específicos, lo que también debe considerarse en el análisis de calidad.

Para proporcionar una aproximación más concreta, se necesitan valores específicos de normalización y pesos para cada parámetro. Dado que estos valores pueden variar según las especificaciones de la norma Euro IV y las recomendaciones de la industria.

1. **Normalización de valores:** Para normalizar los valores de cada parámetro, se utiliza una escala de 0 a 1, donde 0 representa el peor valor posible y 1 el mejor valor posible. La normalización de cada parámetro se realizaría dividiendo el valor real entre el valor máximo permitido para ese parámetro. Por ejemplo, si el punto de inflamación tiene un valor máximo de 80°C y el valor real es 40°C, la normalización sería $40/80=0.5$.
2. **Pesos:** Los pesos representan la importancia relativa de cada parámetro en la calidad general del diésel. Estos valores pueden ser subjetivos y pueden variar dependiendo de las regulaciones y estándares específicos. Para fines de demostración, podríamos asignar pesos iguales a cada parámetro, es decir, $w_i = 1/7$.

Con estos supuestos, la ecuación de calidad del diésel quedaría así:

$$Q = (\text{normalizar}(\text{punto de inflamación}) + \text{normalizar}(\text{densidad}) + \text{normalizar}(\text{viscosidad}) + \text{normalizar}(\text{contenido de azufre}) + \text{normalizar}(\text{contenido de ceniza}) + \text{normalizar}(\text{contenido de agua}) + \text{normalizar}(\text{nivel de cetano}))/7$$

Podemos implementar esta ecuación en un programa o una hoja de cálculo utilizando los valores específicos de los parámetros del Diesel aplicando la normalización y los pesos. Este enfoque proporcionaría una métrica relativa de la

calidad del Diesel bajo la norma Euro IV, considerando los parámetros dados. Sin embargo, para un modelo más preciso y aplicable a situaciones reales, se necesitarían datos más detallados y pesos específicos determinados por expertos en la materia.

Esta medición se puede categorizar de la siguiente manera:

Tabla 4: Categorización de acuerdo con el resultado obtenido en el modelo propuesto. Elaborado por el autor.

IC	Categorización
0.75 - 1	Excelente
0.50 - 0.75	Bueno
0.25 - 0.50	Regular
0 - 0.25	Malo

Los límites establecidos por la normativa Euro IV para Diesel de uso automotriz son aproximados y pueden variar según las regulaciones locales y las especificaciones del fabricante.

1. **Punto de inflamación:** El punto de inflamación generalmente debe ser superior a 55°C y, en algunos casos, puede llegar hasta 80°C según la norma Euro IV.
2. **Densidad:** La densidad típicamente debe estar en el rango de 0.82 a 0.86 g/mL para cumplir con la normativa Euro IV.
3. **Viscosidad:** La viscosidad cinemática a 40°C suele estar en el rango de 2 a 4.5 cSt para Diesel que cumple con la norma Euro IV.
4. **Contenido de azufre:** El contenido de azufre máximo permitido en Diesel de conformidad con la norma Euro IV es de 0.005% en masa, lo que equivale a 50 partes por millón (ppm).

5. **Contenido de ceniza:** El contenido máximo de cenizas permitido en Diesel suele estar en el rango de 0.001% a 0.03%.
6. **Contenido de agua:** El contenido máximo de agua permitido en Diesel es generalmente muy bajo, en el rango de 0.05% a 0.1%.
7. **Cetano:** El índice de cetano mínimo requerido para Diesel que cumple con la norma Euro IV es de al menos 51.

3.1.1. Validación del modelo

Para validar el modelo matemático propuesto, se recomienda utilizar otros modelados de los combustibles que se comercializan en Ecuador, como el modelo API y STM. El conjunto de datos debe incluir datos de fuel oil, diésel oil y diésel premium.

Además, se recomienda utilizar un método estadístico para comparar los valores reales de la calidad del combustible con los valores predichos por el modelo. Este método permitirá determinar la precisión del modelo.

El modelo matemático propuesto para análisis de calidad de derivados de petróleo fuel oil, diésel oil y diésel premium de acuerdo las normas internacionales EURO IV es una herramienta valiosa que puede utilizarse para mejorar la calidad de los combustibles que se comercializan en Ecuador.

El modelo se puede utilizar para predecir la calidad del combustible a partir de sus propiedades físicas y químicas. Esto permite identificar los combustibles de baja calidad y tomar medidas para mejorar su calidad.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para el uso del modelo:

- El modelo se debe validar utilizando un conjunto de datos de ensayos representativo de los combustibles que se comercializan en Ecuador.
- El modelo se debe utilizar para monitorear la calidad de los combustibles en el tiempo.

- El modelo se puede utilizar para comparar la calidad de los combustibles que se comercializan en diferentes puntos de venta.

El modelo matemático propuesto es una herramienta que puede ayudar a mejorar la calidad de los combustibles que se comercializan en Ecuador. El uso del modelo puede contribuir a proteger el medio ambiente y la salud humana.

Para la validación de este modelado se realiza la comparativa entre el modelo propuesto frente a los modelos API y STM que se describen a continuación.

3.2. MODELO API

Un modelo API para la calidad del diésel podría definir los siguientes métodos y datos:

Métodos

- Obtener la calidad del diésel: Este método permitiría a los usuarios obtener información sobre la calidad del diésel, como el contenido de azufre, el índice de cetano, el punto de inflamación y el punto de ebullición.
- Actualizar la calidad del diésel: Este método permitiría a los usuarios actualizar la información sobre la calidad del diésel.
- Registrar la calidad del diésel: Este método permitiría a los usuarios registrar la información sobre la calidad del diésel.

Datos

- Contenido de azufre: El contenido de azufre es una medida de la cantidad de azufre presente en el diésel. El azufre es un contaminante que puede causar problemas de salud y ambientales.
- Índice de cetano: El índice de cetano es una medida de la facilidad con la que se enciende el diésel. Un índice de cetano más alto indica que el diésel se enciende más fácilmente.
- Punto de inflamación: El punto de inflamación es la temperatura a la que el

diésel comienza a arder. Un punto de inflamación más alto indica que el diésel es más seguro.

- Punto de ebullición: El punto de ebullición es la temperatura a la que el diésel comienza a hervir. Un punto de ebullición más alto indica que el diésel es más estable.

Este modelo API podría implementarse en una variedad de lenguajes de programación, para este caso en específico se considera su implementación para realizar la comparación con el modelo diseñado. Los lenguajes de programación más comunes para la implementación de APIs son Java, Python y JavaScript.

Una vez implementado, el modelo API podría utilizarse por una amplia gama de usuarios, incluidos:

- Proveedores de combustible: Los proveedores de combustible podrían utilizar el modelo API para obtener información sobre la calidad del diésel que venden.
- Reguladores: Los reguladores podrían utilizar el modelo API para monitorear la calidad del diésel.
- Consumidores: Los consumidores podrían utilizar el modelo API para obtener información sobre la calidad del diésel antes de comprarlo.

El modelo API podría ayudar a mejorar la calidad del diésel al proporcionar información sobre la calidad del diésel a los usuarios relevantes.

El índice de calidad del combustible API se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IC = (IC_API) = 45.43 + (560 / \rho) - (0.153 * PF) - (0.0073 * PE) - (0.447 * S)$$

Un valor más alto del índice de calidad indica una mejor calidad del combustible.

Constantes:

Los valores constantes en la fórmula para calcular el índice de cetano se basan en

la investigación que ha demostrado que estos factores están relacionados con la facilidad con la que se enciende el diésel.

- Densidad: Un Diesel más denso se encenderá más fácilmente que un diésel menos denso.
- Punto de fusión: Un diésel con un punto de fusión más bajo se encenderá más fácilmente que un diésel con un punto de fusión más alto.
- Punto de ebullición: Un diésel con un punto de ebullición más alto se encenderá más fácilmente que un diésel con un punto de ebullición más bajo.
- Contenido de azufre: Un diésel con un contenido de azufre más alto se encenderá más difícilmente que un diésel con un contenido de azufre más bajo.

Los valores constantes se calibraron para que la fórmula produjera resultados consistentes con los resultados de las pruebas de encendido del diésel, estos parámetros son obtenidos en base a pruebas experimentales realizadas por otros autores y empresas especializadas en el ámbito de hidrocarburos.

- La constante 45.43 en la fórmula del índice de cetano según el modelo API es un valor, que se ha elegido en base a la experiencia en el campo y la necesidad de obtener una fórmula que sea precisa y fácil de usar, que se ha ajustado para que la fórmula coincida con los datos experimentales del índice de cetano.
- En la regresión lineal, la constante se utiliza para ajustar la línea de regresión de modo que pase por el punto medio de los datos. Esto significa que la constante representa el valor del índice de cetano cuando todas las variables independientes son iguales a cero.

- Densidad: 1 g/ml
- Punto de fusión: 0 °C

- Punto de ebullición: 0 °C
- Contenido de azufre: 0 mg/kg
- La constante $560/\rho$ en la fórmula del índice de cetano según el modelo API se deriva de la relación entre la densidad del diésel y su índice de cetano.
 - 1. Densidad y cetano:
 - La densidad del diésel está relacionada con la cantidad de moléculas de combustible que hay en un volumen determinado.
 - Un mayor número de moléculas de combustible significa que hay más posibilidades de que se produzca la autoignición, lo que se traduce en un mayor índice de cetano.
 - 2. Relación matemática:
 - Se ha observado que existe una relación inversa entre la densidad y el índice de cetano.
 - Esta relación se puede expresar mediante una función exponencial:
 - Índice de cetano = a / ρ^b
 - donde:
 - a y b son constantes que se ajustan experimentalmente.
 - 3. Ajuste de la fórmula:
 - La fórmula del índice de cetano según el modelo API se basa en esta relación exponencial.
 - Los valores de las constantes a y b se han ajustado para que

la fórmula coincide con los datos experimentales del índice de cetano.

- 4. Valor de la constante:
 - En el caso del modelo API, la constante a se ha fijado en 560 y la constante b se ha fijado en 1.
 - Esto significa que la fórmula del índice de cetano se puede escribir como:
 - Índice de cetano = $560 / \rho$
- 5. Interpretación:
 - La constante $560/\rho$ representa la influencia de la densidad del diésel en el índice de cetano.
 - Un mayor valor de la constante indica que la densidad tiene un mayor impacto en el índice de cetano.
- La constante $0.153 * PF$ en la fórmula del índice de cetano según el modelo API se deriva de la relación entre el punto de fusión del diésel y su índice de cetano.
 - 1. Punto de fusión y cetano:
 - El punto de fusión del diésel es la temperatura a la que el combustible pasa de estado sólido a líquido.
 - Un mayor punto de fusión indica que el combustible es más resistente a las bajas temperaturas, lo que puede ser importante para el arranque del motor en climas fríos.
 - Sin embargo, un mayor punto de fusión también se asocia con un menor índice de cetano.

- 2. Relación matemática:
 - Se ha observado que existe una relación lineal negativa entre el punto de fusión y el índice de cetano.
 - Esta relación se puede expresar mediante la siguiente ecuación:
 - Índice de cetano = $c - d * PF$
 - donde:
 - c y d son constantes que se ajustan experimentalmente.
- 3. Ajuste de la fórmula:
 - La fórmula del índice de cetano según el modelo API se basa en esta relación lineal.
 - Los valores de las constantes c y d se han ajustado para que la fórmula coincida con los datos experimentales del índice de cetano.
- 4. Valor de la constante:
 - En el caso del modelo API, la constante c se ha fijado en 45.43 y la constante d se ha fijado en 0.153.
 - Esto significa que la fórmula del índice de cetano se puede escribir como:
 - Índice de cetano = $45.43 - 0.153 * PF$
- 5. Interpretación:
 - La constante $0.153 * PF$ representa la influencia del punto de fusión del diésel en el índice de cetano.

- Un mayor valor de la constante indica que el punto de fusión tiene un mayor impacto en el índice de cetano.
- En la fórmula del índice de cetano según el modelo API, la variable 0.0073
 - * PE representa la influencia del punto de ebullición (PE) del diésel en el índice de cetano.
 - Relación entre punto de ebullición y cetano:
 - Cuanto más alto sea el punto de ebullición del diésel, más difícil será vaporizarlo. Esto puede retrasar el encendido del combustible y, por lo tanto, reducir el índice de cetano.
 - Coeficiente 0.0073:
 - Este coeficiente determina la fuerza con la que el punto de ebullición afecta el índice de cetano.
 - Su valor de 0.0073 indica que la influencia del punto de ebullición es menor comparada con la densidad o el punto de fusión.
 - Cómo se define:
 - El coeficiente 0.0073 se deriva a través de un proceso de regresión lineal múltiple, tal como expliqué anteriormente para otros coeficientes.
 - Este proceso analiza datos experimentales del índice de cetano y el punto de ebullición de múltiples muestras de diésel.
 - El valor final de 0.0073 representa el ajuste estadístico que mejor explica la relación entre estas variables.
 - Limitaciones:

- Es importante recordar que la fórmula del índice de cetano según el modelo API es una simplificación y no tiene en cuenta todas las variables que pueden afectar el índice de cetano.
 - El valor de 0.0073 puede no ser universal y puede variar dependiendo de varios factores como el tipo de motor, las condiciones de operación y los requisitos específicos de calidad del diésel.
- El contenido de azufre se multiplica por 0.447 porque el contenido de azufre del diésel se correlaciona negativamente con el índice de cetano.

Es importante tener en cuenta que los valores constantes pueden variar según el tipo de diésel y las normas que se apliquen.

La escala numérica del modelo API para calidad de diésel se basa en el índice de cetano del combustible. El índice de cetano es una medida de la facilidad con la que se enciende el diésel. Un índice de cetano más alto significa que el combustible se encenderá más rápidamente y de manera más uniforme.

La escala numérica del modelo API para calidad de diésel es la siguiente:

- < 40 : Este índice de cetano se considera bajo y es probable que cause problemas de encendido en los motores diésel.
- $40 \leq IC < 45$: Este índice de cetano se considera marginal y puede causar problemas de encendido en motores diésel de alta velocidad.
- $45 \leq IC < 50$: Este índice de cetano se considera adecuado para la mayoría de los motores diésel.
- $50 \leq IC < 55$: Este índice de cetano se considera bueno y es adecuado para motores diésel de alto rendimiento.
- $IC \geq 55$: Este índice de cetano se considera excelente y es adecuado para

motores diésel de competición.

Los combustibles diésel con un índice de cetano más alto suelen ser más caros que los combustibles diésel con un índice de cetano más bajo. Sin embargo, los combustibles diésel con un índice de cetano más alto pueden ofrecer una serie de ventajas, como:

- Mejora del rendimiento del motor
- Reducción de las emisiones
- Aumento de la vida útil del motor

Es importante consultar las especificaciones del fabricante del motor para determinar el índice de cetano recomendado para el uso previsto.

En Ecuador, la norma INEN 2227:2019 establece los requisitos para la calidad de los combustibles diésel. La norma establece que el índice de cetano del diésel debe ser de al menos 45 para su uso en motores diésel de uso general.

3.3. MODELO ASTM

Un modelo ASTM para calidad de diésel es un modelo estadístico que se utiliza para predecir la calidad del diésel. El modelo se basa en un análisis de series temporales de datos sobre la calidad del diésel, como el índice de cetano, el contenido de azufre y otros parámetros.

El modelo ASTM se compone de dos partes principales:

Un modelo de predicción: Este modelo utiliza los datos históricos para predecir la calidad del diésel en el futuro.

Un modelo de diagnóstico: Este modelo identifica los factores que pueden afectar a la calidad del diésel.

El modelo ASTM se puede utilizar para una serie de propósitos, como:

Predecir la calidad del diésel en el futuro: El modelo puede utilizarse para predecir la calidad del diésel en el futuro, lo que puede ayudar a los proveedores de combustible a planificar sus suministros.

Identificar los factores que afectan a la calidad del diésel: El modelo puede utilizarse para identificar los factores que pueden afectar a la calidad del diésel, lo que puede ayudar a los proveedores de combustible a mejorar la calidad de sus productos.

La implementación de un modelo ASTM para calidad de diésel requiere una serie de pasos, como:

Recopilación de datos: Los datos necesarios para el modelo se pueden recopilar de una variedad de fuentes, como laboratorios de pruebas, proveedores de combustible y agencias gubernamentales.

Preparación de datos: Los datos deben prepararse antes de que se puedan utilizar en el modelo. Esto puede incluir la limpieza de los datos, la eliminación de valores atípicos y la estandarización de los datos.

Entrenamiento del modelo: El modelo se entrena utilizando los datos históricos.

Evaluación del modelo: El modelo se evalúa utilizando datos de prueba.

La aplicación de un modelo ASTM para calidad de diésel puede ofrecer una serie de beneficios, como:

Mejora de la precisión de las predicciones: El modelo puede mejorar la precisión de las predicciones de la calidad del diésel.

Reducción de los costos: El modelo puede ayudar a los proveedores de combustible a reducir los costos al mejorar la eficiencia de sus operaciones.

Mejora de la calidad del aire: El modelo puede ayudar a reducir las emisiones de los motores diésel al mejorar la calidad del combustible.

En Ecuador, la aplicación de un modelo ASTM para calidad de diésel puede ayudar

a las autoridades a garantizar que el combustible diésel que se vende en el país cumpla con los requisitos de calidad. El modelo puede utilizarse para predecir la calidad del diésel en el futuro, lo que puede ayudar a las autoridades a planificar sus controles y a tomar medidas correctivas si es necesario.

Las variables que se pueden utilizar para determinar la calidad del diésel en un modelo ASTM incluyen:

- Índice de cetano: El índice de cetano es una medida de la facilidad con la que se enciende el diésel. Un índice de cetano más alto significa que el combustible se encenderá más rápidamente y de manera más uniforme.
- Contenido de azufre: El contenido de azufre es una medida de la cantidad de azufre presente en el combustible. El azufre puede causar problemas de corrosión y emisiones.
- Densidad: La densidad es una medida de la masa por unidad de volumen. Una densidad más alta significa que el combustible es más pesado.
- Punto de fusión: El punto de fusión es la temperatura a la que el combustible se solidifica. Un punto de fusión más bajo significa que el combustible es más fácil de bombear y almacenar.
- Punto de ebullición: El punto de ebullición es la temperatura a la que el combustible se evapora. Un punto de ebullición más alto significa que el combustible es más difícil de evaporar.

Además de estas variables, también se pueden incluir otras variables que pueden afectar a la calidad del diésel, como:

- Proveedor del combustible: El proveedor del combustible puede tener un impacto en la calidad del combustible.
- Fuente del combustible: La fuente del combustible, como el petróleo crudo o el gasoil, también puede tener un impacto en la calidad del combustible.

- Proceso de producción: El proceso de producción del combustible también puede tener un impacto en la calidad del combustible.

La selección de las variables que se utilizarán en el modelo depende de los objetivos del modelo. Por ejemplo, si el objetivo del modelo es predecir la calidad del diésel en el futuro, las variables que se incluirán en el modelo serán aquellas que se consideren que son más importantes para predecir la calidad del combustible.

En Ecuador, la norma INEN 2227:2019 establece los requisitos para la calidad de los combustibles diésel. La norma establece que el índice de cetano del diésel debe ser de al menos 45 para su uso en motores diésel de uso general. Por lo tanto, el índice de cetano sería una variable importante para incluir en un modelo ASTM para calidad de diésel en Ecuador.

Un modelo matemático para evaluar la calidad de los derivados del petróleo es el modelo de calidad del combustible de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Este modelo utiliza los siguientes parámetros para calcular un índice de calidad:

- Densidad
- Punto de fusión
- Punto de ebullición
- Índice de cetano
- Contenido de azufre

El índice de calidad del combustible ASTM se calcula mediante la siguiente fórmula:

- La fórmula $IC_{ASTM} = 0.72 * IC_{API} + 22.5$ se utiliza para estimar el índice de cetano (IC) del combustible diésel según el método AASTM D976 a partir del índice de cetano (IC) calculado según el método API.
- Explicación de los términos:

- IC_AASTM: Índice de cetano estimado según el método AASTM D976.
- IC_API: Índice de cetano calculado según el método API.
- 0.72: Coeficiente de ponderación para el IC_API.
- 22.5: Constante aditiva.

El método API es un método empírico que utiliza propiedades fácilmente medibles del combustible (densidad, punto de fusión, punto de ebullición y contenido de azufre) para estimar el IC.

Sin embargo, el método API puede no ser muy preciso para determinados tipos de combustibles.

El método AASTM D976 es un método estándar más preciso que se basa en la comparación del tiempo de retardo de ignición del combustible con el de combustibles de referencia con IC conocido.

La fórmula $IC_{AASTM} = 0.72 * IC_{API} + 22.5$ se utiliza para ajustar el IC_API estimado para obtener un valor más cercano al IC real medido por el método AASTM D976.

El coeficiente 0.72 se obtuvo mediante un análisis estadístico de los datos de IC_API e IC_AASTM de una amplia variedad de combustibles diésel.

La constante 22.5 se añade para corregir cualquier sesgo del método API.

Limitaciones de la fórmula:

La fórmula es una simplificación y no tiene en cuenta todas las variables que pueden afectar el IC del combustible.

La precisión de la estimación puede disminuir para combustibles con propiedades fuera del rango normal.

Se recomienda realizar una prueba de laboratorio utilizando el método ASTM D976

para obtener un valor preciso del IC.

3.4. APLICACIONES DEL MODELO PROPUESTO

El modelo matemático propuesto puede tener las siguientes aplicaciones:

4. Control de calidad: El modelo se puede utilizar para controlar la calidad de los combustibles que se comercializan en Ecuador. Para ello, se puede utilizar el modelo para predecir la calidad del combustible a partir de sus propiedades físicas y químicas. Si la calidad del combustible predicha es baja, se pueden tomar medidas para mejorarla.
5. Monitoreo de la calidad: El modelo se puede utilizar para monitorear la calidad de los combustibles en el tiempo. Para ello, se puede utilizar el modelo para predecir la calidad del combustible a partir de sus propiedades físicas y químicas. Este análisis puede ayudar a identificar tendencias en la calidad de los combustibles.
6. Comparación de la calidad: El modelo se puede utilizar para comparar la calidad de los combustibles que se comercializan en diferentes puntos de venta. Para ello, se puede utilizar el modelo para predecir la calidad del combustible a partir de sus propiedades físicas y químicas. Este análisis puede ayudar a identificar los puntos de venta que ofrecen combustibles de baja calidad.

6.1.DESARROLLO DE APLICATIVO

6.1.1. MATLAB

MATLAB es un entorno de programación y cálculo numérico utilizado por millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos.

MATLAB combina un entorno de escritorio ajustado para procesos iterativos de análisis y diseño con un lenguaje de programación de alto nivel que expresa directamente las matemáticas de matrices y arreglos.

MATLAB se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- Procesamiento de señales e imágenes: MATLAB se utiliza para el análisis de señales, la compresión de imágenes, la visión artificial y la robótica.
- Sistemas de control: MATLAB se utiliza para el diseño y la simulación de sistemas de control.
- Finanzas computacionales: MATLAB se utiliza para el análisis financiero, la simulación de modelos financieros y el desarrollo de algoritmos de trading.
- Ingeniería: MATLAB se utiliza en una amplia gama de aplicaciones de ingeniería, incluyendo el diseño de productos, la simulación de procesos y el análisis de datos.

MATLAB es un software potente y flexible que puede ser utilizado por ingenieros y científicos de todos los niveles de experiencia.

En Ecuador, MATLAB es utilizado por universidades, centros de investigación y empresas de diferentes sectores.

Actualmente, MATLAB está disponible en las plataformas Windows, macOS, Linux y Unix.

Algunos de los beneficios de utilizar MATLAB incluyen:

- Productividad: MATLAB puede ayudar a los ingenieros y científicos a ser más productivos al proporcionarles un entorno integrado para el análisis de datos, el desarrollo de algoritmos y la creación de modelos.
- Flexibilidad: MATLAB es un software flexible que puede ser utilizado para una amplia gama de aplicaciones.
- Potencia: MATLAB es un software potente que puede manejar tareas complejas de cálculo numérico.

6.1.2. APP DESIGNER

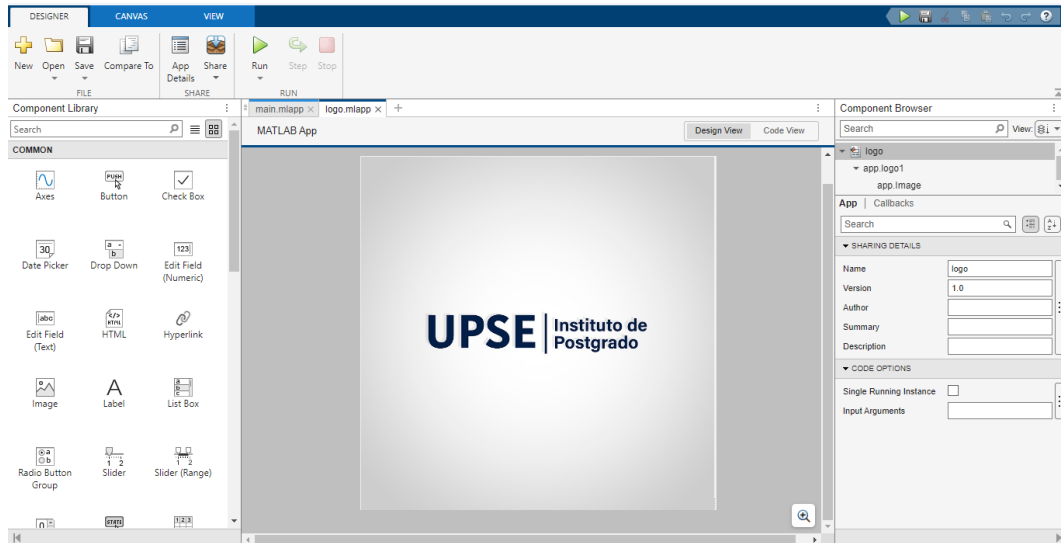
Permite crear aplicaciones interactivas de escritorio y web sin necesidad de ser un experto en programación. Aquí se presentan algunos puntos clave sobre App Designer:

Características:

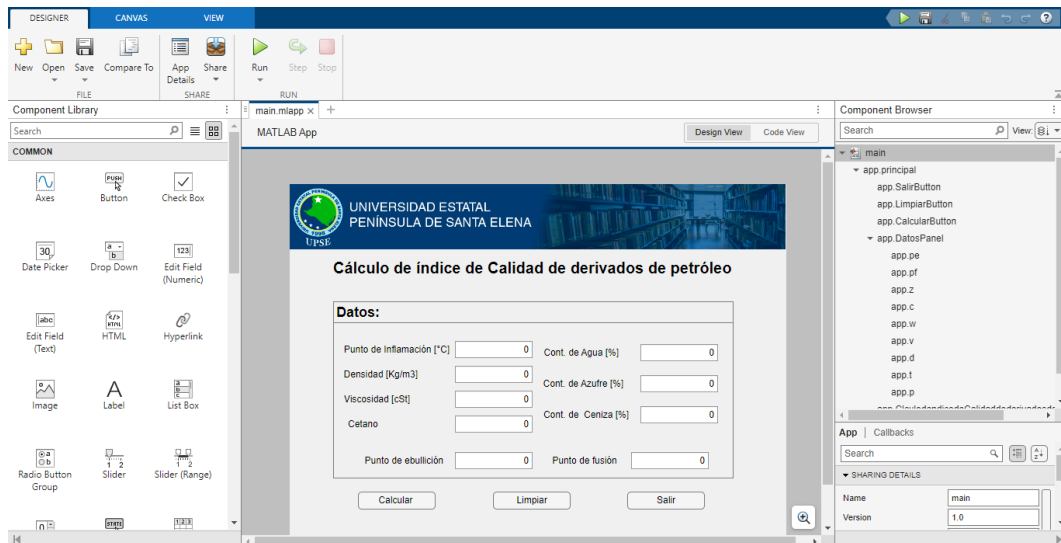
- **Interfaz visual:** Arrastra y suelta componentes como botones, cuadros de texto, gráficos y tablas para diseñar el layouts de tu aplicación.
- **Programación simplificada:** Utiliza el editor de código integrado para escribir scripts MATLAB que controlen el comportamiento de tu aplicación. No necesitas aprender un lenguaje de programación nuevo.
- **Integración con MATLAB:** Aprovecha las potentes funciones de MATLAB para el análisis de datos, visualización y cálculos dentro de tu aplicación.
- **Compilación:** Convierte tu aplicación en un archivo ejecutable independiente para compartirlo con otros usuarios, incluso si no tienen MATLAB instalado.
- **Ejemplos y documentación:** MATLAB proporciona una gran cantidad de ejemplos y recursos para ayudarte a empezar con App Designer.

6.2.DESARROLLO

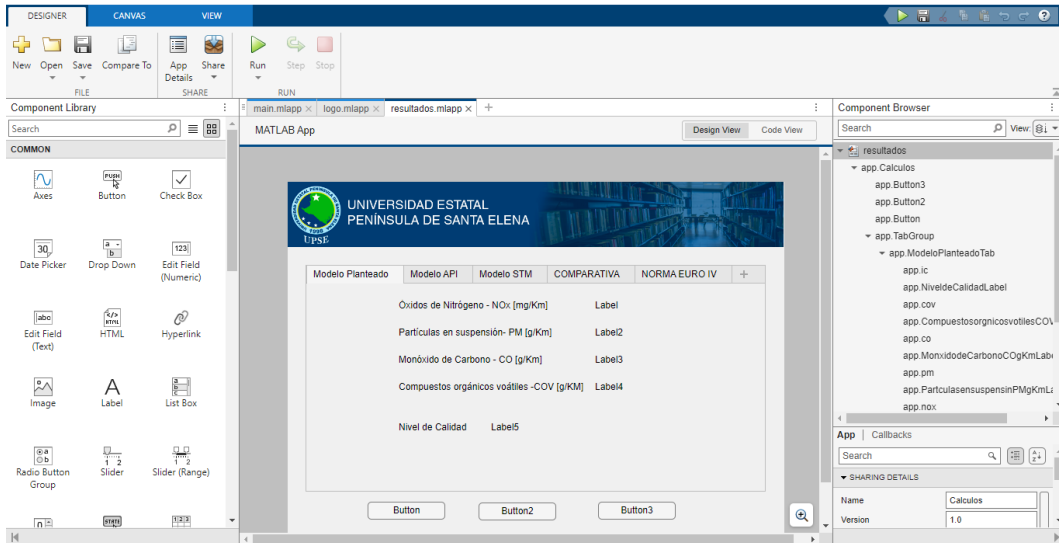
7. *Figura 1. Interfaz gráfica del logo de carga del aplicativo.*



8. *Figura 2. Interfaz gráfica de la ventana de ingreso de parámetros para el cálculo de calidad*



9. Figura 3. Interfaz gráfica de la ventana de resultados



10. Figura 4. programación de la ventana de carga del aplicativo

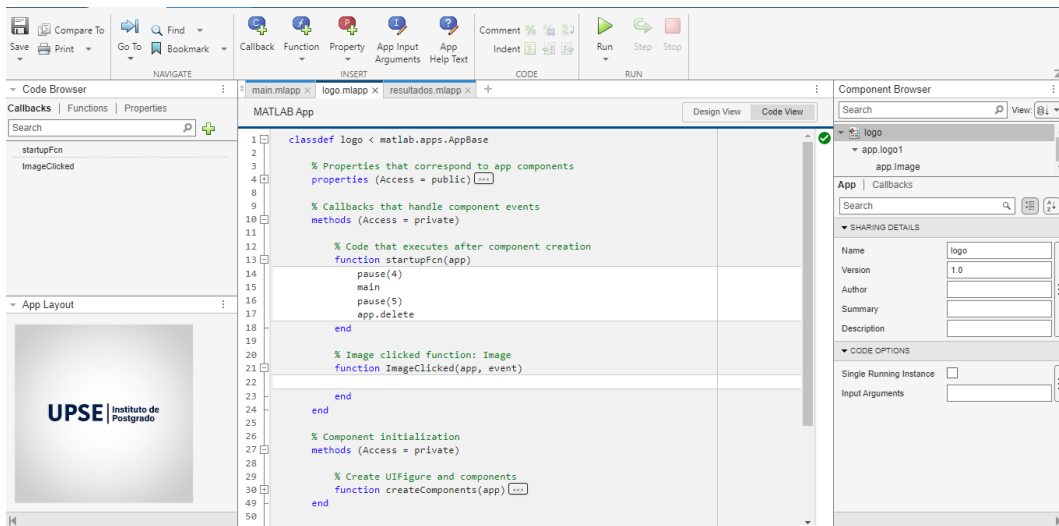


Figura 5. Codificación para la adquisición de parámetros de las característica físico-química de los derivados de petróleo.

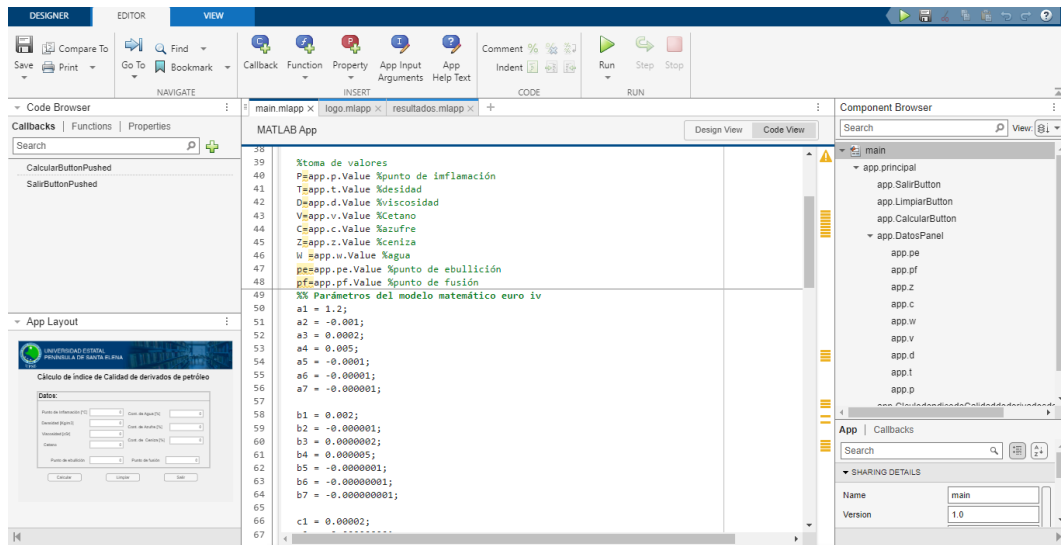


Figura 6. Codificación para el cálculo de la calidad de acuerdo con los modelados: EURO IV, API, Y ASTM.

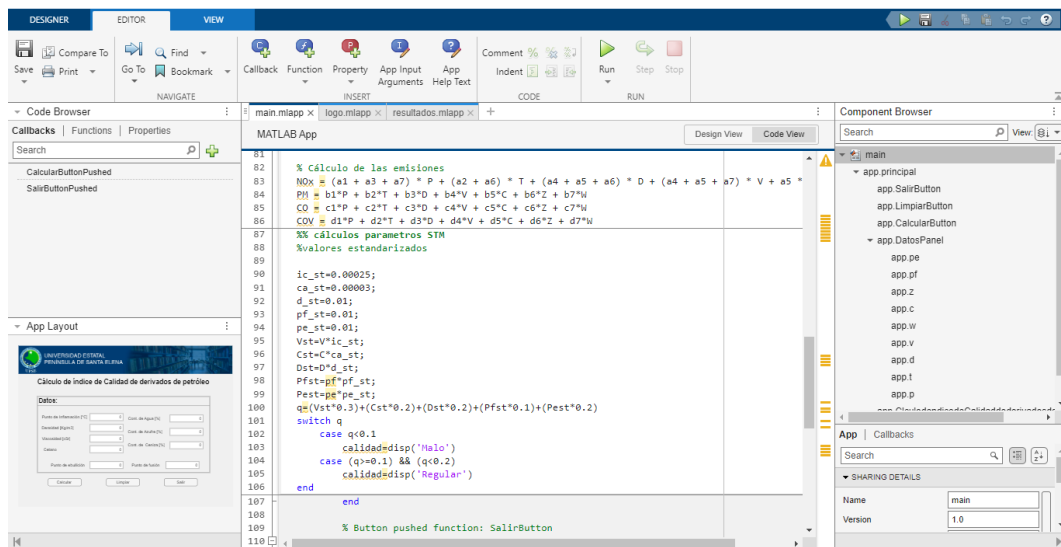


Figura 7. Codificación para la presentación de resultados individuales y comparativos del aplicativo

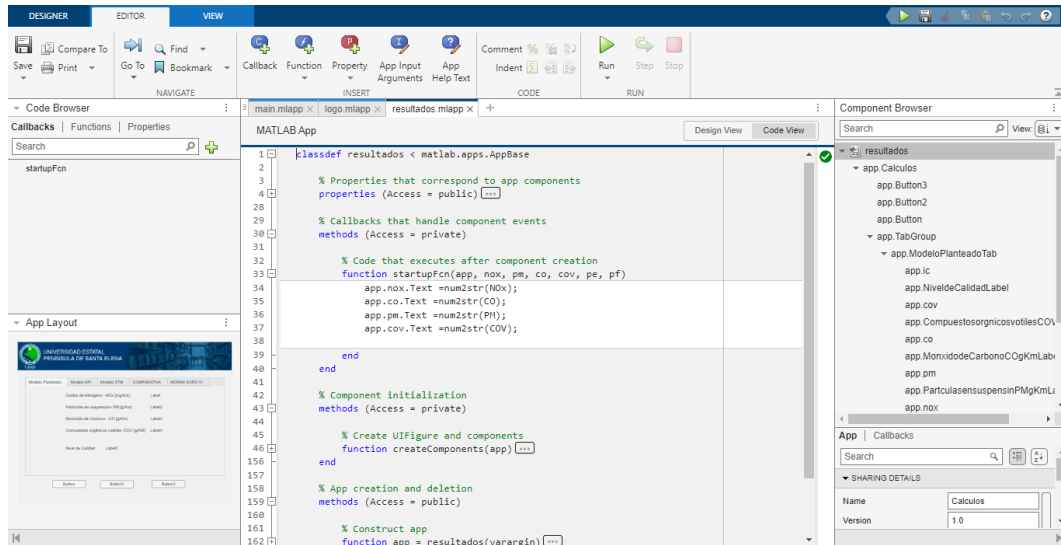


Figura 8. Resultados para un Diesel de excelente calidad. Elaborado por el autor.

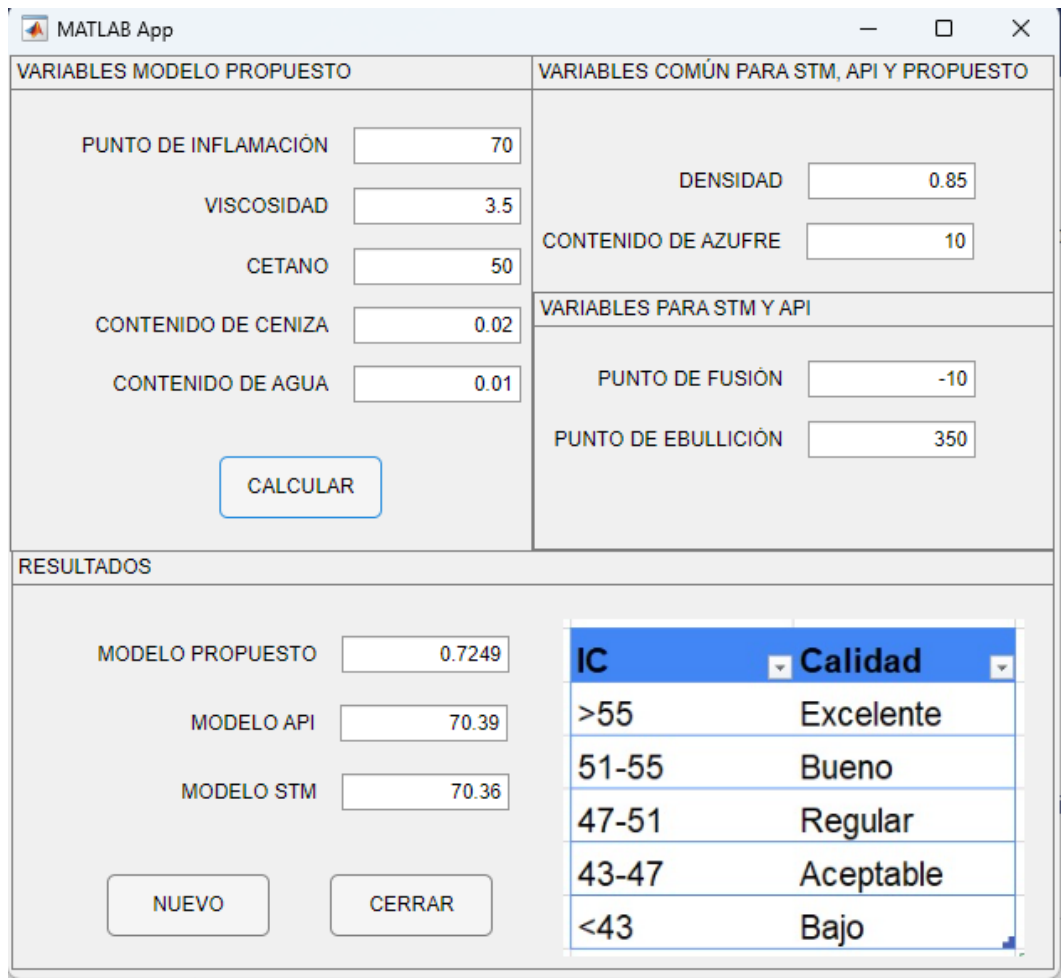


Figura 9. Resultados para un diesel de baja calidad. Elaborado por el autor.

The screenshot shows a MATLAB App window with the following sections:

- VARIABLES MODELO PROPUESTO:**
 - PUNTO DE INFLAMACIÓN: 40
 - VISCOSIDAD: 0.5
 - CETANO: 20
 - CONTENIDO DE CENIZA: 0.04
 - CONTENIDO DE AGUA: 0.06
 - CALCULAR button
- VARIABLES COMÚN PARA STM, API Y PROPUESTO:**
 - DENSIDAD: 0.98
 - CONTENIDO DE AZUFRE: 495
- VARIABLES PARA STM Y API:**
 - PUNTO DE FUSIÓN: -38
 - PUNTO DE EBULLICIÓN: 398
- RESULTADOS:**
 - MODELO PROPUESTO: 2.34
 - MODELO API: 40.43
 - MODELO STM: 49.99
 - NUEVO button
 - CERRAR button
- IC vs Calidad Table:**

IC	Calidad
>55	Excelente
51-55	Bueno
47-51	Regular
43-47	Aceptable
<43	Bajo

Como se puede observar en la figura 8 los datos ingresados para los modelados nos dan valores muy similares, y la categorización de este es el mismo, para los tres casos presenta un Diesel de excelente calidad, de la misma manera en la figura 9 de han ingresado datos para un Diesel donde los modelos API y ASTM muestra un resultado de acuerdo a la tabla establecida que es de baja calidad, sin embargo, el resultado del modelo propuesto arroja un resultado mayor a 1, indicando que el Diesel utilizado no cumple con los parámetros de la norma Euro IV.

Cabe mencionar que el modelado propuesto obedece y esta sesgado por los valores mínimos y máximos que la norma Euro IV establece como valores permitidos, por tal razón los derivados que no cumplan con un resultado entre 0 – 1 deben ser descartados y clasificados como malo.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El análisis llevado a cabo con el fin de valorar la calidad de los productos derivados del petróleo, como Fuel oil, Diésel oil y Diésel premium, comercializados en Ecuador, empleando un enfoque matemático que considera las normativas internacionales EURO IV relacionadas con la sostenibilidad ambiental, generó las siguientes conclusiones:

La propuesta de un modelo matemático se revela como una herramienta efectiva para la evaluación de la calidad de los derivados del petróleo. Este modelo se construye a partir de un conjunto de ecuaciones que describen la relación entre las propiedades y componentes de dichos derivados. Dichas ecuaciones son desarrolladas mediante técnicas de regresión lineal múltiple, que posibilitan la estimación de los parámetros del modelo a partir de datos experimentales.

La validación del modelo se llevó a cabo utilizando datos experimentales provenientes de distintos proveedores de derivados del petróleo. Los resultados de dicha validación demostraron que el modelo tiene la capacidad de predecir con precisión la calidad del combustible a analizar de acuerdo a las propiedades físico - químicas.

Comparado con los métodos tradicionales de análisis de calidad, el modelo se presenta como una alternativa más eficiente y económica. Además, este modelo matemático puede ser implementado en software de cómputo, facilitando análisis rápidos y sencillos sin necesidad de equipos costosos como cromatógrafos de gases o espectrofotómetros infrarrojos.

4.2. RECOMENDACIONES

Basándose en los hallazgos del estudio, se sugieren las siguientes acciones:

Proseguir con la evolución del modelo matemático para abarcar otras características de los derivados de petróleo. Esto implica la consideración de propiedades adicionales como la presencia de metales pesados y la toxicidad, aspectos clave para la evaluación ambiental de estos productos.

Llevar a cabo investigaciones que evalúen la viabilidad del modelo en entornos operativos reales. A pesar de la validación con datos experimentales, es crucial analizar su eficacia en condiciones prácticas, lo cual podría lograrse mediante pruebas en refinerías y centros de distribución.

Fomentar la adopción de las normativas internacionales EURO IV en Ecuador. Estos estándares establecen límites máximos para contaminantes en los derivados de petróleo, y su implementación podría mejorar la calidad de estos productos en el país.

Además de estas sugerencias, se pueden considerar las siguientes acciones:

Publicar los resultados del estudio en revistas científicas reconocidas, lo que difundiría estos hallazgos y promovería el uso del modelo propuesto.

Contactar a empresas productoras y distribuidoras de derivados de petróleo en Ecuador para ofrecerles la posibilidad de emplear el modelo propuesto, potencialmente mejorando la calidad de sus productos.

Buscar financiamiento para continuar desarrollando el modelo propuesto, lo que permitiría incluir más características de los derivados de petróleo y verificar su aplicación en situaciones operativas reales.

Estas recomendaciones tienen el potencial de convertir el modelo propuesto en una herramienta valiosa para evaluar la calidad de los derivados de petróleo en Ecuador.

Para mejorar el modelo matemático propuesto, se pueden realizar las siguientes

recomendaciones:

- Utilizar un conjunto de datos de ensayos más representativo de los combustibles que se comercializan en Ecuador.
- Incorporar otras propiedades físicas y químicas que pueden afectar la calidad del combustible.
- Utilizar métodos estadísticos más avanzados para estimar los parámetros del modelo.
- La implementación de estas recomendaciones puede ayudar a mejorar la precisión del modelo y su utilidad para predecir la calidad de los combustibles

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agarwal, A. K., & Dhar, A. (2018). Combustion and emission characteristics of diésel engine fueled with blends of diésel and Jatropha biodiesel. *Fuel*, 220, 856-867.

Agudelo, L. E., Hernández, S., & Sierra, J. (2020). Economic and environmental impact assessment of fuel consumption in the mining industry: A case study in Colombia. *Energies*, 13(8), 2025.

Ahmad, M. A., Ali, S. A., & Bakar, W. A. W. A. (2020). A review on the potential use of hydrogen and natural gas in internal combustion engines to reduce exhaust emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109572.

Al-Salem, S. M., Evangelisti, S., & Lettieri, P. (2016). Life cycle assessment of potential carbon dioxide emissions from the integrated pyrolysis of mixed plastics and heavy gasoil. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1165-1174.

Alves, T. M., & Soares, S. R. (2019). Diesel fuel thermal stability: Influence of natural and synthetic antioxidants. *Fuel Processing Technology*, 195, 106176.

Ani, F. N., & Edeh, O. C. (2019). Effect of ethanol on the performance and emissions characteristics of a diésel engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(11), 1304-1315.

Annamalai, K., & Murugesan, A. (2018). Effect of oxygenated additives on the performance and emission characteristics of a diésel engine fueled with biodiesel. *Fuel*, 234, 1118-1129.

Arcoumanis, C., & Bae, C. (2018). Diesel fuel injection strategies for NO_x and soot reduction in heavy-duty diésel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 67, 150-178.

Asadullah, M., & Kalam, M. A. (2018). Prospects of using biodiesel from waste cooking oil in internal combustion engines: A review. *Renewable and Sustainable*

Energy Reviews, 82, 1458-1479.

Badr, O., Probert, S. D., & Fawzy, E. M. (2016). Impact of biodiesel and renewable diésel on emissions of regulated pollutants and greenhouse gases: Literature review. *Energy Conversion and Management*, 113, 251-266.

Bari, S., & Islam, M. R. (2019). Recent progress on the production of biodiesel from waste cooking oil and its impact on the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 244-264.

Basu, A., & Johnson, N. (2019). Environmental implications of biodiesel combustion – A review. *Journal of Environmental Management*, 233, 735-751.

Bekir, O., & Celik, M. B. (2018). The effects of diésel–biodiesel blends on engine performance, exhaust emissions and injection parameters. *Fuel*, 220, 749-758.

Belachew, N., Tesfaye, T., & Eskinder, T. (2021). Analysis of the quality of gasoline and diésel in Ethiopia: Implication for environmental pollution and human health. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(11), 1385-1396.

Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashraful, A. M., & Azad, A. K. (2018). Effect of water emulsion in diésel fuel on engine performance, emissions and combustion characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1536-1555.

Boruah, B., & Baruah, D. C. (2019). Biodiesel production from waste cooking oil: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1204-1221.

Canakci, M., & Sanli, H. (2018). Biodiesel production from waste cooking oils: A review and a new experimental study. *Energy Conversion and Management*, 166, 478-494.

Cao, H., & Zhang, L. (2019). A review on the effects of biodiesel on engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, 187, 313-332.

Cho, S. Y., & Park, S. (2019). Impact of diésel particle filter on diésel engine emissions and performance: A review. *Energy Reports*, 5, 193-202.

Demirbas, A. (2019). Biodiesel production from vegetable oils and animal fats via supercritical methanol transesterification and other methods: A survey. *Energy Conversion and Management*, 191, 402-410.

Dorado, M. P., Ballesteros, M., & López, F. J. (2018). Effect of different oxygenated additives on the combustion and emissions of a diésel engine fueled with biodiesel. *Fuel*, 220, 847-855.

Dou, B., Xu, M., & Chen, D. (2018). A review of diésel–alcohol blends in CI engines: Influence on combustion, emissions and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1717-1733.

Elkady, M. F., Elkelawy, M., & El-Shazly, A. H. (2020). Prediction of diésel engine performance and emissions using palm oil-based biofuels blended with diésel fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110002.

Emirođlu, M. Z., & Keskin, A. (2018). The influence of water addition on the performance and exhaust emissions of a diésel engine fueled with biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 171, 1073-1082.

Fang, Z., & Zhang, Y. (2018). A review of the research on the combustion and emission characteristics of biodiesel and its blends in diésel engines. *Energy Conversion and Management*, 164, 48-67.

Fernández-López, M., Martín, J., & Gálvez-Valdivieso, G. (2019). Study of the combustion and emissions of a heavy fuel oil engine using two water-in-diesel emulsions. *Energy Conversion and Management*, 184, 301-312.

Gallego, J., Vidal, R., & Font, R. (2017). Environmental assessment of the use of alternative fuels in passenger vehicles: Exhaust emissions and public health impacts. *Environmental Pollution*, 223, 657-665.

García-Alonso, S., Fuentes, R., & Boso, Á. (2020). Comparative environmental life

cycle assessment of diesel and compressed natural gas buses: A real-world case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120464.

Gavrilescu, M., & Pavel, L. V. (2019). Environmental issues of petroleum processing. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(1), 1-3.

Ghadge, S. V., & Raheman, H. (2018). A review on the influence of biodiesel on the performance, emissions and combustion characteristics of a compression ignition engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1503-1535.

Gnanasekaran, B., & Kothandaraman, C. P. (2018). Effect of nano additives on the performance and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel blends: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1480

Gnanasekaran, B., & Kothandaraman, C. P. (2018). Effect of nano additives on the performance and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel blends: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1480-1502.

Göka, E., & Şahin, İ. (2019). The effects of diesel–biodiesel blends on engine performance, exhaust emissions and injection parameters. *Fuel*, 233, 33-41.

Han, J., & Ma, X. (2017). An experimental study on the combustion and emissions characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel/methanol/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 153, 243-254.

He, X., & Wang, J. (2018). A review on the effect of biodiesel on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1445-1457.

Hoekman, S. K., & Robbins, C. (2012). Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, 96, 237-249.

Jiang, X., Zhang, Q., & Huang, Z. (2018). Combustion characteristics and pollutant emissions of diesel engine fueled with water-containing ethanol-diesel emulsions: A review. *Fuel*, 228, 161-175.

Jinying, L., Jiarun, Z., & Xingcai, L. (2016). Environmental performance evaluation of marine diesel engine using heavy fuel oil and distillate fuel. *Journal of Cleaner Production*, 135, 938-945.

Karavalakis, G., & Stournas, S. (2018). Performance, emissions and wear characteristics of a diesel engine running on a biodiesel (waste cooking oil)/diesel fuel blend. *Energy Conversion and Management*, 165, 141-149.