



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BÁSICAS



**“ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIÉSEL EN  
ESTACIONES DE SERVICIO EN PARAÍSO, TABASCO”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIATURA EN QUÍMICA

PRESENTA:  
ALEXA MARÍA GARCÍA CANCINO

BAJO LA DIRECCIÓN DE  
DR. DURVEL DE LA CRUZ ROMERO

CUNDUACÁN, TABASCO A MARZO 2025

## **Declaración de Autoría y Originalidad**

En la ciudad de Cunduacán, Tabasco, el día 5 del mes de febrero del año 2025, el que suscribe Alexa María García Cancino alumna del Programa Lic. En Química, con número de matrícula 192A26040, adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor de la tesis presentada para la obtención del título en Lic. En Química y titulada como Análisis y verificación de la calidad del Diésel en estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco, dirigida por el Dr. Durvel de la Cruz Romero.

### **DECLARO QUE:**

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizado y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Cunduacán, Tabasco a 5 de febrero 2025



---

Alexa María García Cancino

## Autorización de impresión



División  
Académica  
de Ciencias  
Básicas



DIRECCIÓN

Cunduacán, Tabasco; a 05 de febrero de 2025.

**C. ALEXA MARÍA GARCÍA CANCINO**  
**PASANTE DE LA LICENCIATURA EN QUÍMICA**  
**PRESENTE**

Por medio del presente, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que proceda a la impresión del trabajo titulado **“ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIÉSEL EN ESTACIONES DE SERVICIO EN PARAÍSO, TABASCO”**, dirigido por el Dr. Durvel de la Cruz Romero, bajo la modalidad de titulación por **TESIS**. La comisión de revisión conformada por el Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dr. Durvel de la Cruz Romero, Dra. Alejandra Elvira Espinosa de los Monteros Reyna y Dr. José Guadalupe Pacheco Sosa, liberó el documento en virtud de que reúne los requisitos para el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente.

Sin otro particular, reciba usted un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS BÁSICAS

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL**  
**DIRECTORA**

C.c.p. Archivo.

DIR: DRA.HPV/kfvg

Km.1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, C.P. 86890, Cunduacán, Tab., México.  
Tel/Fax: (993) 3581500 Ext. 6702,6701 E-Mail: direccion.dacb@ujat.mx

[www.ujat.mx](http://www.ujat.mx)

## Carta de Cesión de Derechos

Cunduacán, Tabasco a febrero 2025

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR(A) y/o AUTORES(RAS) en la producción, creación y/o realización de la obra denominada Análisis y verificación de la calidad del Diésel en estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de autor y toda vez que la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES

  
AMGC

EGRESADA ALEXA MARÍA GARCÍA CANCINO

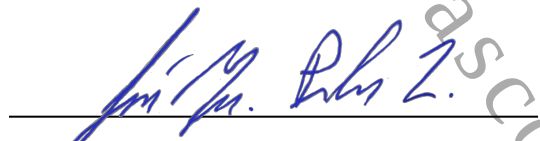
DIRECTOR DR. DURVEL DE LA CRUZ ROMERO



### TESTIGOS



DRA. ALEJANDRA ELVIRA ESPINOSA  
DE LOS MONTEROS REYNA



DR. JOSE GUADALUPE PACHECO  
SOSA

# LICENCIATURA - ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL DIÉSEL EN ESTACIONES DE SERVICIO EN PARAÍSO, TABASCO - ALEXA MARÍA GARCÍA CANCINO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

ÍNDICE DE SIMILITUD

### FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                                        |                    |
|---|------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1 | <a href="http://www.gob.mx">www.gob.mx</a><br>Internet                 | 191 palabras — 1%  |
| 2 | <a href="http://1library.co">1library.co</a><br>Internet               | 144 palabras — 1%  |
| 3 | <a href="http://doaj.org">doaj.org</a><br>Internet                     | 129 palabras — 1%  |
| 4 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Internet         | 100 palabras — 1%  |
| 5 | <a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Internet | 94 palabras — 1%   |
| 6 | <a href="http://vdocuments.pub">vdocuments.pub</a><br>Internet         | 82 palabras — 1%   |
| 7 | <a href="http://scielo.sld.cu">scielo.sld.cu</a><br>Internet           | 61 palabras — < 1% |
| 8 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Internet             | 56 palabras — < 1% |
| 9 | <a href="http://www.dof.gob.mx">www.dof.gob.mx</a><br>Internet         | 55 palabras — < 1% |



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS BÁSICAS  
ESTUDIOS  
TERMINALES

| <b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título de la tesis:</b>                                     | Análisis y verificación de la calidad del Diésel en estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Autores de la tesis:</b>                                    | Autor: Alexa María García Cancino<br>Director: Durvel de la Cruz Romero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ORCID:</b>                                                  | <a href="https://orcid.org/0009-0004-8164-9561">https://orcid.org/0009-0004-8164-9561</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Resumen de la tesis:</b>                                    | El combustible diésel esta compuesto principalmente por hidrocarburos saturados, aromáticos, y pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno. Su uso frecuente lleva consigo la adulteración en estaciones de servicio. Para garantizar la calidad del diésel, se realizaron análisis de sus propiedades, como la curva de destilación, densidad, índice de cetano, punto de inflamación y contenido de azufre, para verificar el cumplimiento normativo de la NOM-016-CRE-2016, descartando posibles adulteraciones y asegurando la calidad del combustible. |
| <b>Palabras claves de la tesis:</b>                            | Diésel, calidad, verificación, propiedades, combustible                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Referencias citadas</b>                                     | Encontradas en el apartado correspondiente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

## Dedicatoria

Sin duda alguna el esfuerzo y los sacrificios siempre dan buenos resultados, siendo este el mayor de los ejemplos, quiero agradecer y dedicar esta tesis a mis padres quienes han sido la guía más importante en mi desarrollo personal, quienes gracias a cada uno de sus esfuerzos, apoyo y amor incondicional me han impulsado a seguir cada uno de mis proyectos.

A mi abuelita Isabel que siempre ha estado para mí en cada uno de mis momentos importantes desde que tengo uso de memoria, a mi abuelo Manuel y Guadalupe por ser la motivación de mis progresos.

A mis hermanas y a mis familiares más cercanos que han estado presente dándome ánimos, gracias por su cariño y apoyo.

Gracias a mi Ángel por estar incondicionalmente, gracias por estar para mí, gracias por enseñarme a ver cosas buenas en malos momentos, y gracias por ayudarme a superar los obstáculos que se presentaron en mi camino.

Gracias al Ing. Jordan por apoyarme, enseñarme y orientarme profesionalmente.

A mis amigos por su apoyo emocional, gracias, Marge y Emma, gracias a todos mis compañeros, gracias por las risas, gracias por todo lo que aprendí de cada uno.

Y finalmente gracias a mí, por ser perseverante, paciente y por siempre creer en mí.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a cada uno de mis profesores a lo largo de mi desarrollo académico, quienes, con su orientación y paciencia, compartieron de todo su conocimiento para formarme profesionalmente, gracias de todo corazón a los doctores que hacen de sus clases momentos agradables, gracias a todos los profesores que se convirtieron en amigos, gracias a cada uno de ustedes, no me alcanzaría la presente para nombrar a cada uno, sin embargo tengo la seguridad que saben quiénes son. Gracias a mi asesor el Dr. Durvel por creer en mi proyecto y apoyarme en todo momento, gracias a la empresa AMSPEC por permitirme desarrollar la presente dentro de sus instalaciones y darme la oportunidad de desenvolverme profesionalmente, gracias a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por ofrecerme la oportunidad de formar parte de su comunidad académica, así como proporcionarme un espacio para crecer como persona.

# **Análisis y verificación de la calidad del Diésel en estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco**

**Autor(a):**

Alexa María García Cancino

**Director:**

Dr. Durvel de la cruz romero

## **Resumen:**

El combustible diésel es un derivado del petróleo ampliamente utilizado en transporte pesado y maquinaria, conocido por su densidad y apariencia oleosa. Compuesto principalmente por hidrocarburos saturados, aromáticos, y pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno. Su uso frecuente lleva consigo la adulteración del combustible en estaciones de servicio, con el fin de evadir impuestos y reducir costos, afectando su calidad. Para garantizar la calidad del diésel, se realizaron análisis de sus propiedades, como la curva de destilación, densidad, índice de cetano, punto de inflamación y contenido de azufre, para verificar el cumplimiento normativo de la NOM-016-CRE-2016, descartando posibles adulteraciones y asegurando la calidad del combustible.

## **Abstrac:**

Diesel fuel is a petroleum derivative widely used in heavy transportation and machinery, known for its density and oily appearance. It is primarily composed of saturated hydrocarbons, aromatics, and small amounts of sulfur and nitrogen. Its frequent use brings with it fuel adulteration at service stations, in order to evade taxes and reduce costs, affecting its quality. To ensure the quality of diesel, analyses of its properties were conducted, such as the distillation curve, density, cetane index, flash point, and sulfur content, to verify compliance with the NOM-016-CRE-2016 standard, ruling out possible adulterations and ensuring the quality of the fuel.

## **Palabras clave:**

Diésel, calidad, verificación, propiedades, combustible

# Índice

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | Introducción .....                                           | 1  |
| 2.    | Marco teórico.....                                           | 3  |
| 2.1   | Diésel.....                                                  | 3  |
| 2.2   | Clasificación del diésel.....                                | 7  |
| 2.3   | Parámetros fisicoquímicos .....                              | 8  |
| 2.3.1 | Densidad .....                                               | 8  |
| 2.3.2 | Curva de destilación .....                                   | 9  |
| 2.3.3 | Contenido de azufre .....                                    | 10 |
| 2.3.4 | Punto de inflamación .....                                   | 11 |
| 2.3.5 | Índice de cetano .....                                       | 12 |
| 2.4   | Especificaciones de la norma mexicana NOM-016-CRE-2016 ..... | 15 |
| 2.5   | Adulteración de combustibles.....                            | 16 |
| 2.6   | Aditivo.....                                                 | 16 |
| 2.7   | Calidad .....                                                | 17 |
| 2.8   | Consecuencias de la adulteración de combustibles .....       | 17 |
| 2.9   | Estaciones de servicio.....                                  | 18 |
| 3.    | Antecedentes.....                                            | 19 |
| 4.    | Planteamiento del problema .....                             | 32 |
| 5.    | Justificación .....                                          | 34 |
| 6.    | Pregunta principal de investigación .....                    | 37 |
| 7.    | Hipótesis.....                                               | 38 |
| 8.    | Objetivos.....                                               | 38 |
| 8.1   | Objetivo general.....                                        | 38 |
| 8.2   | Objetivos específicos .....                                  | 38 |
| 9.    | Metodología experimental .....                               | 39 |
| 9.1   | Selección de estaciones de servicio .....                    | 39 |
| 9.2   | Muestreo del diésel .....                                    | 40 |
| 9.3   | Densidad ASTM D4052.....                                     | 41 |

|      |                                      |    |
|------|--------------------------------------|----|
| 9.4  | Contenido de azufre ASTM D2622 ..... | 43 |
| 9.5  | Destilación ASTM D86 .....           | 45 |
| 9.6  | Punto de ignición ASTM D93 .....     | 48 |
| 9.7  | Índice de cetano ASTM D976 .....     | 50 |
| 10.  | Resultados .....                     | 51 |
| 10.1 | Estación de servicio ORSAN .....     | 52 |
| 10.2 | Estación de servicio PEMEX .....     | 55 |
| 10.3 | Estación de servicio Bp .....        | 59 |
| 11.  | Discusiones .....                    | 62 |
| 12.  | Conclusiones .....                   | 65 |
| 13.  | Glosario de abreviaturas .....       | 66 |
| 14.  | Bibliografía .....                   | 67 |

## Índice de tablas

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Composición del queroseno y diésel, traducido de (ATSDR, 2004). .....                                                      | 6  |
| Tabla 2. Tipos de diésel (DOF, 2016). .....                                                                                         | 7  |
| Tabla 3. Intervalos de destilación (Reyes, 2007). .....                                                                             | 10 |
| Tabla 4. Especificaciones de la norma mexicana NOM- 016-CRE-2016 (DOF, 2016). .....                                                 | 15 |
| Tabla 5. Especificaciones del diésel establecidos en Guatemala, reportados por (Aguirre, 2003). .....                               | 20 |
| Tabla 6. Estándares de algunas propiedades del diésel por el departamento de medio ambiente Australia (Reyes,2007). .....           | 21 |
| Tabla 7. Resultados experimentales de las propiedades del diésel en el estudio de (Reyes,2007). .....                               | 21 |
| Tabla 8. Especificaciones del diésel automotriz de la WWFC (Rodríguez, 2012). .....                                                 | 24 |
| Tabla 9. Parámetros analizados en la mezcla etanol-diésel (Castillo et al., 2012). .....                                            | 25 |
| Tabla 10. Valores promedio del número de cetano y punto de inflamabilidad en la mezcla etanol-diésel (Castillo et al., 2012). ..... | 26 |
| Tabla 11. Propiedades analizadas del diésel en Costa Rica (Bazán,2015). .....                                                       | 29 |
| Tabla 12. Análisis de calidad del diésel (SEDEMA, 2017). .....                                                                      | 29 |
| Tabla 13. Resultados experimentales densidad Orsan .....                                                                            | 52 |
| Tabla 14. Resultados experimentales Flash Point Orsan .....                                                                         | 53 |
| Tabla 15. Resultados experimentales contenido de azufre Orsan .....                                                                 | 53 |
| Tabla 16. Resultados de las muestras Orsan 1,2,3, destilación .....                                                                 | 54 |
| Tabla 17. Resultados de las muestras Orsan 4,5,6, destilación .....                                                                 | 54 |
| Tabla 18. Resultados experimentales índice de cetano calc. Orsan .....                                                              | 55 |
| Tabla 19. Resultados experimentales densidad Pemex .....                                                                            | 55 |
| Tabla 20. Resultados experimentales Flash Point Pemex .....                                                                         | 56 |
| Tabla 21. Resultados experimentales contenido de azufre Pemex .....                                                                 | 56 |
| Tabla 22. Resultados de las muestras Pemex 1,2,3, destilación .....                                                                 | 57 |
| Tabla 23. Resultados de las muestras Pemex 4,5,6, destilación .....                                                                 | 57 |
| Tabla 24. Resultados experimentales índice de cetano calc. Pemex .....                                                              | 58 |
| Tabla 25. Resultados experimentales densidad Bp .....                                                                               | 59 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 26. Resultados experimentales Flash Point Bp .....                                                                      | 59 |
| Tabla 27. Resultados experimentales contenido de azufre Bp.....                                                               | 60 |
| Tabla 28. Resultados de las muestras Bp 1,2,3, destilación .....                                                              | 60 |
| Tabla 29. Resultados de las muestras Bp 4,5,6, destilación .....                                                              | 61 |
| Tabla 30. Resultados experimentales índice de cetano calc. Bp .....                                                           | 61 |
| Tabla 31. Resultados promedio de los parámetros analizados del diésel de las<br>estaciones de servicio Orsan, Pemex, Bp. .... | 62 |
| Tabla 32. Resultados promedio de los intervalos de destilación de las estaciones<br>de servicio Orsan, Pemex y Bp .....       | 64 |

## Índice de figuras

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.Diésel (TitanFuel,sf). ....                                                                     | 3  |
| Figura 2.Estructuras de las principales sustancias encontradas en el diésel<br>(Aleme, 2011).....        | 5  |
| Figura 3.Estructura química del hexadecano (figura propia).....                                          | 12 |
| Figura 4.Estructura química del heptametilnonano (figura propia).....                                    | 12 |
| Figura 5.Enfoque integral en la calidad del aire (Arango, 2009).....                                     | 22 |
| Figura 6.Curvas de destilación de muestras con comportamientos atípicos (Ruiz y<br>Behrentz, 2009).....  | 23 |
| Figura 7. Puntos de inflamación de diésel adulterado (Lyra, 2015).....                                   | 27 |
| Figura 8.Curva de destilación del diésel adulterado (Lyra, 2015).....                                    | 28 |
| Figura 9.Muestras diésel Bp, Pemex y Orsan, Imagen propia AMSPEC DB. ....                                | 40 |
| Figura 10. Color de las muestras de diésel, Imagen propia AMSPEC DB. ....                                | 40 |
| Figura 11. Densímetro digital DMA (Metro Digital Anton), Anton Paar, Imagen<br>Propia en AMSPEC DB. .... | 41 |
| Figura 12.Análisis de densidad del diésel, imagen propia AMSPEC DB.....                                  | 42 |
| Figura 13.Comprobante de resultados densidad, imagen propia AMSPEC DB. ....                              | 42 |
| Figura 14.Analizador de azufre Sindie 2622-10, imagen propia AMSPEC DB.....                              | 43 |
| Figura 15.Preparación de la muestra diésel en análisis de azufre, imagen propia<br>AMSPEC DB. ....       | 43 |
| Figura 16.Celda para análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB. ....                                   | 44 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17. Muestra preparada análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB. ...                                | 44 |
| Figura 18. Comprobante de resultado análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB. ....                        | 45 |
| Figura 19. Destilador AP-7, TANAKA, Imagen propia AMSPEC DB. ....                                            | 45 |
| Figura 20. Verificación automática del volumen de la probeta destilación, imagen propia AMSPEC DB. ....      | 46 |
| Figura 21. Placa de calentamiento del diésel, imagen propia AMSPEC DB. ....                                  | 46 |
| Figura 22. Muestra colocada en el destilador, imagen propia AMSPEC DB. ....                                  | 47 |
| Figura 23. Destilación del diésel, imagen propia AMSPEC DB. ....                                             | 47 |
| Figura 24. Flash point a copa cerrada apm-TANAKA, imagen propia AMSPEC DB. ....                              | 48 |
| Figura 25. Copa del flash point, imagen propia AMSPEC DB. ....                                               | 48 |
| Figura 26. Análisis de flash point, imagen propia AMSPEC DB. ....                                            | 49 |
| Figura 27. Análisis de flash point finalizado, imagen propia AMSPEC DB. ....                                 | 49 |
| Figura 28. Muestras diésel Orsan, Bp y Pemex. ....                                                           | 51 |
| Figura 29. Curvas de destilación y desviación estándar de las estaciones de servicio Orsan, Pemex y Bp. .... | 63 |

## 1. Introducción

El combustible diésel también conocido como gasoil, gasóleo o aceite combustible para motor, es un combustible ampliamente usado en el transporte pesado, transporte público, camiones, tractores, máquinas y en algunos automóviles. Es un derivado del petróleo, sencillo de refinar y de menor costo, se caracteriza por su color blancuzco transparente o verdoso, en comparación con la gasolina es más denso y su apariencia es oleosa (Cárdenas, 2013).

Con respecto a su composición química está formado por hidrocarburos saturados (parafínicos y nafténicos) aromáticos y pequeñas porciones de compuestos de azufre y nitrógeno (Aleme, 2011). Por otra parte, el uso frecuente del diésel conlleva a una problemática común, la adulteración de combustibles, que se distribuye en las estaciones de servicio, con el fin de evadir impuestos, de incrementar el volumen generando mejores ganancias y reducción de costos, provocando un combustible de baja calidad (Aguirre, 2003).

Ante esta problemática se trata de verificar y evaluar las propiedades del combustible, tal como lo mencionan Ruiz y Behrentz (2009) quienes aseguran que un análisis de las propiedades del combustible contribuye al aseguramiento de la calidad de este mismo. Una comparación de un combustible sin contaminar con uno adulterado proporciona información relevante acerca de la calidad de este. El análisis de diferentes muestras de diésel en distintas estaciones de servicio descarta posibles adulteraciones y asegura que cumpla con las especificaciones de la norma.

Debido al alto consumo del diésel es indispensable corroborar que este cumpla con los estándares establecidos en la norma y así poder descartar posibles adulteraciones del combustible, demostrando ser un producto con calidad optima. En México la normativa encargada es la NOM-016-CRE-2016 que establece las especificaciones de calidad que deben cumplir los petrolíferos y menciona los límites permisibles de las propiedades del combustible (DOF, 2016).

A través de la literatura se reportan análisis de adulteración de gasolinas y pocos sobre el Diésel, por ello en esta investigación se realizó una evaluación de algunas de las propiedades fisicoquímicas del combustible diésel de la localidad de Paraíso, Tabasco con el apoyo y colaboración de la empresa AMSPEC.

El análisis y evaluación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras diésel de las estaciones de servicio; Bp, Orsan y Pemex, proporciona información que contribuye a la verificación y evaluación de la calidad del combustible, a través de los límites permisibles de la NOM-016-CRE-2016.

Entre los parámetros analizados se encontraron la curva de destilación proporcionada por los puntos de ebullición, punto de inflamación, densidad, índice de cetano y contenido de azufre que aseguran que el combustible cumpla con las especificaciones de calidad y normatividad establecida, descartando una posible adulteración, reduciendo así las pérdidas fiscales y a su vez proporcionar un mejor control en la emisión de contaminantes y finalmente un mejor funcionamiento y vida útil del motor.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Diésel

También es conocido como gasóleo y es un combustible derivado del petróleo, compuesto principalmente de hidrocarburos saturados (parafinicos y nafténicos) y aromáticos, con un color característicamente blanquizco o verdoso como se puede observar en la figura 1. Aleme (2011) menciona que en los constituyentes del diésel se encuentran hidrocarburos saturados de cadenas de alcanos largos de  $C_{10}$ - $C_{20}$ , la mayoría tiene rangos de temperatura de ebullición entre los 174-344 °C



Figura 1. Diésel (TitanFuel, s.f).

Es un hidrocarburo líquido cuya densidad varía aproximadamente entre 820-850  $\text{kg/m}^3$  y la densidad a 15 °C sobre 850  $\text{kg/m}^3$  (0.850 g/ml), es un combustible fundamentalmente compuesto por parafinas (Global Composites, s.f).

El combustible diésel es menos denso que el agua, por lo tanto, tiene la capacidad de flotar por encima de esta, su densidad varía dependiendo de su composición y de factores como la temperatura o la presión sin embargo la densidad del gasoil suele oscilar alrededor de 0.832 g/ml (Agrupación gasoil, 2024). Muchos distribuidores reportan la

densidad del combustible por medio de fichas técnicas, tal es el caso de (Bp, 2020) donde resalta que su combustible diésel cuenta con una densidad de 0.82 a 0.845 g/ml a 15 °C

Respecto a su composición, tal como se muestra en la figura 2, dentro de su estructura química se encuentran cicloalcanos alquilados como alquilciclohexanos, decahidronaftalenos y perhidrofenantrenos. Compuestos aromáticos que incluye son alquilbencenos, indanos, naftalenos, tetralenos, bifenilos, cenaftenos, fenantrenos, crisenos, pirenos y los de mayor abundancia son los tipos naftaleno. Además, en su estructura química no solo contiene carbono e hidrógeno, sino que también existen en cantidades pequeñas de compuestos que contienen heteroátomos como azufre, nitrógeno y oxígeno (Aleme, 2011).

Este mismo autor menciona que los compuestos de azufre tienen un elevado peso molecular y estructuras con mayor número de anillos aromáticos que en comparación con la gasolina, entre estos compuestos se encuentran benzotiofeno y dibenzotiofeno. También tiene presente compuestos nitrogenados, que incluyen las clases de indoles, carbazoles, quinolinas, acridinas y fenantridinas. Para los compuestos oxigenados presentes son fenoles alquilados y dibenzofuranos. De igual forma Aleme (2011), reafirma que la formulación de este combustible es relativa y depende del proceso de producción y procesamiento, ya que, en refinerías, está sujeta a las condiciones del clima, la temporada y la zona en la que se encuentre.

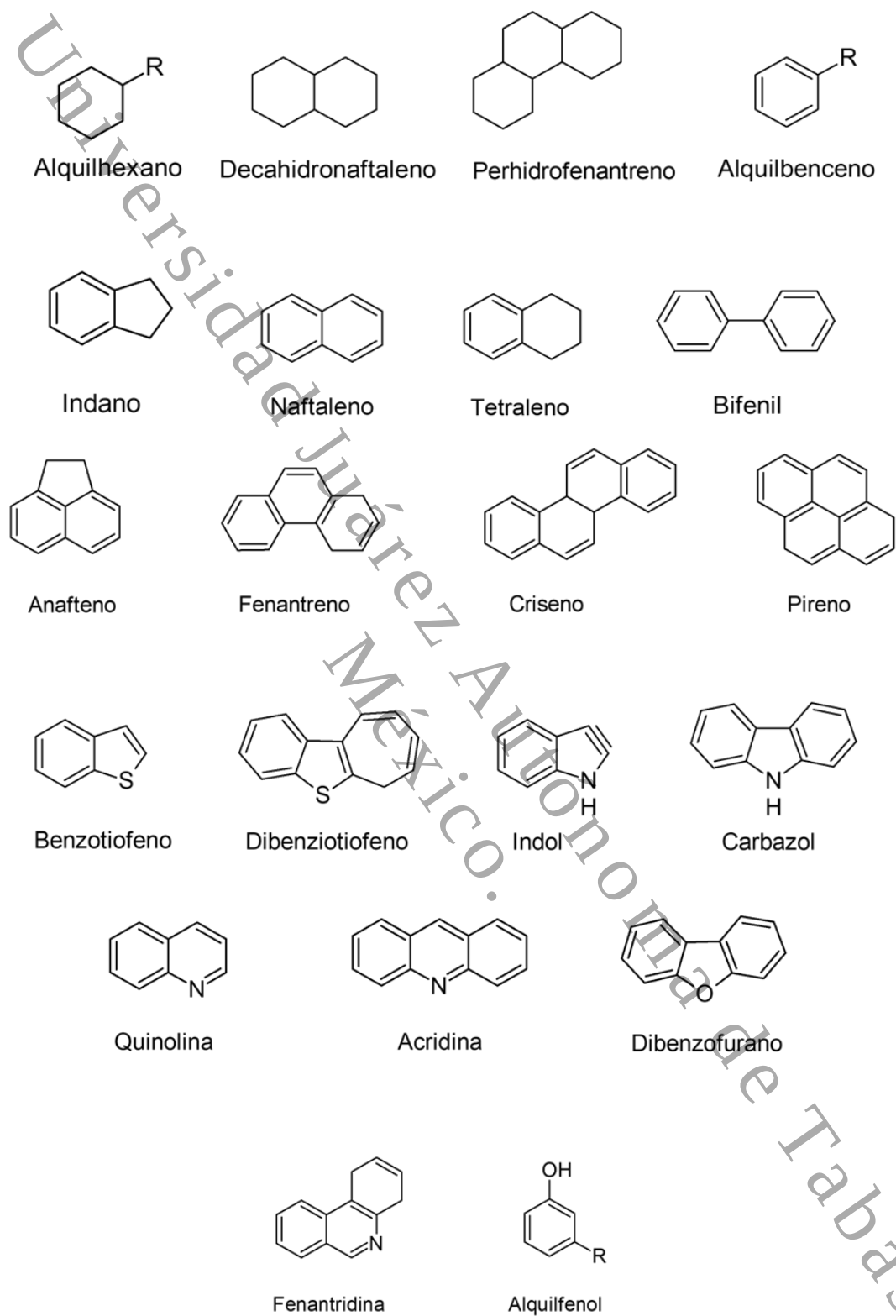


Figura 2. Estructuras de las principales sustancias encontradas en el diésel (Aleme, 2011).

La composición del diésel es descrita por la ATSDR (2004) tal como se detalla en la tabla 1, mencionando que se divide en dos tipos de hidrocarburos; saturados en un 75 % y aromáticos en un 25 %, como se muestra a continuación en el tipo de fuel oil no.2. Mencionando que la fórmula química general más común es  $C_{12}H_{26}$ .

Tabla 1. Composición del queroseno y diésel, traducido de (ATSDR, 2004).

| Tipo de hidrocarburo              | Volumen %                         |                                |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                                   | Aceite combustible No.1 queroseno | Aceite combustible No.2 Diésel |
| Parafinas (n- y iso-)             | 52.4                              | 41.3                           |
| Parafinas monocíclicas            | 21.3                              | 22.1                           |
| Parafinas bicíclicas              | 5.1                               | 9.6                            |
| Parafinas tricíclicas             | 0.8                               | 2.3                            |
| Total de hidrocarburos saturados  | 79.7                              | 75.3                           |
| Olefinas                          | -                                 | -                              |
| Alquilbencenos                    | 13.5                              | 5.9                            |
| Indano/ tetralinas                | 3.3                               | 4.1                            |
| Indenos/ dinaftenobencenos        | 0.9                               | 1.8                            |
| Naftalenos                        | 2.8                               | 8.2                            |
| Bifenilos/acenaftenos             | 0.4                               | 2.6                            |
| Fluorenos/acenaftilenos           | -                                 | 1.4                            |
| Fenantrenos                       | -                                 | 0.7                            |
| Total de hidrocarburos aromáticos | 23.6                              | 24.7                           |

## 2.2 Clasificación del diésel

La norma NOM-016-CRE-2016, define tres tipos de diésel como se presenta a continuación en la tabla 2, destacando así que cada tipo de diésel se dirige en necesidades específicas de su uso. (DOF, 2016)

Tabla 2. Tipos de diésel (DOF, 2016).

| Tipo                   | Características                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diésel automotriz      | Se encuentra compuesto por una mezcla compleja de hidrocarburos, destacándose principalmente por parafinas no ramificadas, puede contener aditivos, y su uso esta dado en motores a diésel para servicio automotriz. |
| Diésel agrícola/marino | Se caracteriza por la combinación compleja de hidrocarburos como parafinas no ramificadas, que está destinado a utilizarse en motores a diésel para servicio agrícola y marino.                                      |
| Diésel industrial      | Petróleo compuesto por una mezcla compleja de hidrocarburos, principalmente parafinas no ramificadas, utilizado en procesos de combustión a fuego directo en la industria.                                           |

## 2.3 Parámetros fisicoquímicos

Las características fisicoquímicas dependen de los procesos de refinación a los cuales son sometidos y la naturaleza del combustible. Conocer los parámetros físicos como la densidad, curva de destilación y punto de ignición, así como los químicos, contenido de azufre e índice de cetano, del diésel nos proporciona información relevante para detectar posibles modificaciones sobre el combustible (Boluda, 2019).

### 2.3.1 Densidad

La densidad es una propiedad intensiva que define la relación entre la masa ( $m$ ) por unidad de volumen ( $v$ ), como se presenta en la ecuación 1. Es un análisis físico que es útil para caracterizar a los combustibles en productos ligeros y pesados (Matos, 2002). La densidad ( $\rho$ ) es una propiedad que representa un factor importante en la calidad y precio. Un incremento en la densidad del combustible puede representar un aumento de sustancias adulterantes presentes en este (Boluda, 2019).

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ Ecuación 1}$$

Esta propiedad es determinada de acuerdo con el método ASTM D4052-18, en donde además de proporcionar información acerca de la densidad se determina la densidad relativa y la gravedad API. (ASTM, 2018)

Siendo la densidad relativa la relación entre la densidad de un material a una temperatura determinada y una densidad de referencia, mayormente la densidad del agua a una temperatura específica, en la ecuación 2 se puede observar esta relación.

$$\rho_r = \rho / \rho_0 \text{ Ecuación 2}$$

Donde  $\rho_r$  es la densidad relativa,  $\rho$  es la densidad absoluta y  $\rho_0$  es la densidad de referencia.

La gravedad API es una medida de densidad, que describe las características del petróleo a través de la comparación con el agua, a las mismas condiciones de presión y temperatura. Esta, indica la clasificación de los petróleos crudos y sus derivados, van

desde los superligeros o los extrapesados. Los °API cambia de acuerdo a la temperatura, si esta aumenta, la densidad disminuye provocando un aumento en los °API, la fórmula de la gravedad API, se muestra en la ecuación 3, (Morales Bautista, 2023).

$$^{\circ}API = \left( \frac{141.5}{GE \text{ a } 60^{\circ}F} \right) - 131.5 \text{ Ecuación 3}$$

Siendo GE, gravedad específica (densidad relativa).

Estos parámetros son determinados a través del método ASTM D4052-18 (ASTM, 2018). El fundamento principal del equipo se explica a través de un tubo de vidrio hueco que vibra a una cierta frecuencia. Esta frecuencia cambia cuando el tubo se llena con la muestra: cuanto mayor sea la masa de la muestra, menor será la medición de la frecuencia y se convierte en densidad (Gode, 2022).

De acuerdo con Pemex (2016), el combustible diésel automotriz debe tener una densidad que oscila aproximadamente en un rango de 0.820 a 0.850 g/ml, en donde a 15 °C su densidad se reporta como 0.850 g/ml.

### 2.3.2 Curva de destilación

La curva de destilación consiste en determinar el porcentaje de combustible vaporizado a medida que se incrementa la temperatura, obteniendo el porcentaje de evaporación frente a la temperatura. Una variación en la curva de destilación nos indicaría la presencia de aditivos o adulterantes que modificaran la curva de destilación en algunas de sus diferentes secciones (Boluda, 2019).

Además de que el intervalo de destilación origina información útil acerca de la composición, propiedades y del comportamiento del combustible durante su almacenamiento y uso (Aguirre, 2003). Para una evaluación de la curva de destilación se emplea el método estándar ASTM D86-18 para la destilación de productos derivados del petróleo (ASTM, 2018).

Los intervalos de destilación en los que se debe encontrar una muestra de combustible diésel oscilan entre los datos a continuación en la tabla 3 (Reyes, 2007). Sin embargo, en la NOM-016-CRE-2016 especifica que al 10 % debe tener una temperatura máxima de 275 °C y al 90 % debe tener 345 °C máximo, para los demás puntos solo pide que sean informados (DOF, 2016).

Tabla 3. Intervalos de destilación (Reyes, 2007).

| Volumen (%) | Temperatura (°C) |
|-------------|------------------|
| IBP         | 201              |
| 10          | 209              |
| 50          | 260              |
| 90          | 323              |
| FBP         | 360              |

### 2.3.3 Contenido de azufre

El azufre es un elemento que forma parte de la composición del petróleo crudo y en consecuencia en sus derivados, cuando estos combustibles llevan a cabo el proceso de combustión o son sometidos a fuentes de calor, el azufre contenido se emite como bióxido de azufre  $\text{SO}_2$ , los  $\text{SO}_x$  o como sulfatos, siendo estas sustancias que contribuyen a la contaminación del medio ambiente (Blumberg, Walsh, & Pera, 2003).

Según la (ASTM, 2018) la calidad de los derivados del petróleo está relacionada con la cantidad de azufre presente (ASTM D4052-18). Debido a esto las normativas restringen la cantidad de azufre presente en el combustible, ya que la presencia de un exceso de azufre en el diésel afecta en el control de emisiones, por ello existen límites permisibles sobre la cantidad máxima de azufre para tener un mejor regulamiento de la calidad y a su vez de las emisiones (IPIECA, 2007).

A. Bello et al., (2000) mencionan que uno de los parámetros que influye en las emisiones de material particulado es el contenido de azufre en el combustible y que mejorar la calidad del combustible, reduciría las concentraciones de material particulado, dando a

la vez solución al problema de contaminación atmosférica. Por estas razones el contenido de azufre se analizó, siguiendo el método ASTM D4052-18, en donde el principio del método se basa en colocar la muestra en el haz de rayos X, midiendo la intensidad del pico de la línea de azufre  $K\alpha$  a 0.5373 nm. La intensidad de fondo, medida a una longitud de onda recomendada de 0.5190 nm se resta de la intensidad pico. La tasa de conteo neta la compara el equipo con la curva de calibración para obtener la concentración de azufre en miligramos por kilogramo (mg/Kg) o en ppm (ASTM, 2018). Los estándares establecidos de contenido de azufre mencionan que el máximo contenido de azufre debe ser 15 (mg/Kg), (DOF, 2016).

#### 2.3.4 Punto de inflamación

El punto de inflamación es una medida de temperatura a la cual el combustible forma una mezcla inflamable con aire, es una de las propiedades del combustible que evalúa el grado de riesgo general de inflamabilidad (ASTM, 2018).

Otra definición menciona que el punto de inflamación o flash point, es la temperatura a la que el combustible puede iniciar el proceso de combustión. Este no debe ser confundido con el punto de ignición, ya que este es la temperatura a la que debe calentarse o exponerse a una fuente de calor para arder de forma continua (RAI, 2014).

El autor Lyra (2015) define el punto de inflamación como la temperatura más baja a la que se produce un destello provocado por la inflamación de los vapores de la muestra por el paso de una pequeña llama.

El punto de inflamación es de suma importancia ya que suele estar relacionado con requisitos legales y precauciones de seguridad en las normativas de transporte y seguridad para definir los materiales inflamables y combustibles (DOF, 2012).

Este parámetro fisicoquímico se mide de acuerdo con el ASTM D93-18, usando una copa cerrada que funciona a través del calentamiento del combustible, para comenzar a vaporizarse y liberar vapores, en donde el punto de inflamación es el punto en el cual estos vapores se mezclan con el aire para formar una mezcla inflamable (ASTM, 2018).

De acuerdo con la normatividad, esta especifica que la temperatura mínima de flash point debe ser 45 °C (DOF, 2016).

### 2.3.5 Índice de cetano

Es una medida que cuantifica la calidad de ignición de un diésel, mide la tendencia del diésel a una combustión incorrecta. La escala se basa en las características de ignición del cetano (n-hexadecano) y heptametilnonano cuya estructura química se expone a continuación en la figura 3 y 4 (Cárdenas, 2013).



Figura 3. Estructura química del hexadecano (figura propia)

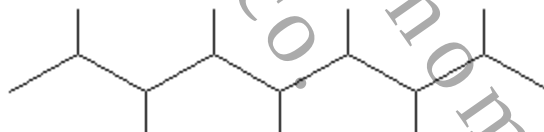


Figura 4. Estructura química del heptametilnonano (figura propia)

Este parámetro mide qué tan propensa es una mezcla combustible de llegar a su punto de autoignición al ser suministrada al motor, este tiene una equivalencia al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano (Castillo, Mendoza, & Caballero, 2012).

Cárdenas (2013) reporta que comúnmente los motores se encuentran diseñados para usar índices de cetano entre 40 y 55, explicando que el comportamiento del índice de cetano se verá aumentado cuando se incrementa la longitud de la cadena y que otro

factor de suma importancia que incide sobre este parámetro, es la adición de aditivos, infiriendo que través de estos que se puede mejorar o modificar la calidad del combustible.

De manera más breve se puede decir que el índice de cetano mide el grado de autoignición durante la combustión, siendo este la herramienta más viable para estimar el número de cetano, cuando no se tiene las herramientas necesarias (motor de prueba) para cuantificarlo, surgiendo así el índice de cetano calculado, que se realiza por medio del ASTM D4737-16, método de prueba estándar para el índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables (ASTM, 2016). Procedimiento A, donde se usa la ecuación 4.

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10}) + [0.131 + (0.901)(B)(T_{50N})] + [0.0523 - (0.420)(B)(T_{90N})] + [0.00049][(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2] + (107)(B) + (60)(B)^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Procedimiento A (ASTM D4737)

CCI: Índice de cetano calculado

D: Densidad a 15 °C g/ml determinado por el método D4052

DN: D-0.85

B:  $[e^{(-3.5)(DN)}]^{-1}$

T<sub>10</sub>: Temperatura al 10 %, °C determinada por los métodos ASTM D86 y corregida por la presión barométrica estándar

T<sub>10N</sub>: T<sub>10</sub> -215

T<sub>50</sub>: Temperatura al 50 %, °C determinada por los métodos ASTM D86 y corregida por la presión barométrica estándar

T<sub>50N</sub>: T<sub>50</sub> -260

T<sub>90</sub>: Temperatura al 90 %, °C determinada por los métodos ASTM D86 y corregida por la presión barométrica estándar

T<sub>90N</sub>: T<sub>90</sub> -310

Teniendo presente que la corrección de la temperatura es evaluada a través de la ecuación 5.

$$C_c = 0.0009(101.3 - P_k)(273 + t_c) \text{ Ecuación 4}$$

$C_c$ : Correcciones a añadir algebraicamente las lecturas de temperaturas observadas

$P_k$ : Presión barométrica prevaleciente en el momento y ubicación de la prueba en kPa

$t_c$ : Temperatura observada en °C

La (DOF, 2016) establece que el índice de cetano calculado debe ser superior a 45 para el diésel automotriz.

## 2.4 Especificaciones de la norma mexicana NOM-016-CRE-2016

Tabla 4. Especificaciones de la norma mexicana NOM- 016-CRE-2016 (DOF, 2016).

| Especificaciones del diésel       |              |                                                                                                                                                                                                                               |                   |                        |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Propiedad                         | Unidad       | Método de prueba                                                                                                                                                                                                              | Valor límite      |                        |
|                                   |              |                                                                                                                                                                                                                               | Diésel automotriz | Diésel agrícola/marino |
| Gravedad específica a 20/4 °C     | Adimensional | Densidad, densidad relativa (gravedad específica o gravedad de petróleo crudo y productos líquidos de petróleo por el método hidrométrico, ASTM D1298, D4052).                                                                | Informar          | Informar               |
| Temp. de destilación              |              | Destilación de productos de petróleo (ASTM D86,D7344,D7345)                                                                                                                                                                   |                   |                        |
| Temp. inicial de ebullición (IBP) | °C           |                                                                                                                                                                                                                               | Informar          | -                      |
| Al 10 % recuperado                | °C           |                                                                                                                                                                                                                               | 275.0 máx         | Informar               |
| Al 50 % recuperado                | °C           |                                                                                                                                                                                                                               | Informar          | -                      |
| Al 90 % recuperado                | °C           |                                                                                                                                                                                                                               | 345.0 máx         | 345.0 máx              |
| Temp. final de ebullición (FBP)   | °C           |                                                                                                                                                                                                                               | Informar          | -                      |
| Temperatura de inflamación        | °C           | Temperatura de inflamabilidad: prueba Pensky Martens de copa cerrada (ASTM D93, D7094,D3828)                                                                                                                                  | 45.0 mínimo       | 60.0 mínimo            |
| Índice de cetano                  | Adimensional | Cálculo del índice de cetano de combustibles destilados (ASTM D4737, D975)                                                                                                                                                    | 45 mínimo         | 45 mínimo              |
| Azufre                            | mg/kg (ppm)  | Determinación de azufre en productos de petróleo por espectroscopia de rayos X de fluorescencia por dispersión de energía (ASTM D4294) determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros (ASTM D5453, D2622,D7039,D7220) | 15 máximo         | 500 máximo             |

En la tabla 4, se encuentran las principales especificaciones de calidad del combustible diésel, con el objetivo de establecer los parametros que el combustible debe cumplir para ser comercializado en el país, igual manera esta norma menciona que la temperatura máxima debe ser menor o igual que la temperatura ambiente mínima esperada en cada uno de los métodos.

## 2.5 Adulteración de combustibles

La adulteración de combustibles consiste en la adición de cualquier sustancia que modifique las características originales del combustible, que están delimitadas para cumplir con las especificaciones vigentes y otras propiedades necesarias para el perfecto funcionamiento del motor (Lyra, 2015).

Dentro de las aportaciones Almeida et al., (2009) definen la adulteración de combustibles, como una actividad que se caracteriza por la adición irregular de cualquier sustancia, evadiendo impuestos, para obtener lucros desmedidos.

## 2.6 Aditivo

Sustancia química añadida a los petrolíferos y derivados de este con el objetivo de proporcionarles propiedades específicas (DOF, 2016).

La creación de aditivos según Salas (1994) debe darse con el fin de poder resolver irregularidades presentes en el combustible y que varían su composición según su propósito, algunas propiedades que deben tener son:

- Absorber el agua presente en el combustible
- Prevenir el deterioro y corrosión del motor
- Evitar el crecimiento de microorganismos
- Mejorar la combustión
- Modificar cetano

Algunos aditivos encontrados a través de la literatura son los siguientes:

Algunos productos con los que se adulteran gasolinas y diésel son el keroseno y algunos que otro solvente, debido a su menor precio (Matos, 2002).

El etanol es un aditivo que puede estar presente en modificación del diésel según Castillo et al., (2012). De igual manera el uso de mezclas de biodiésel de aceite de cocina usado ha sido reportado por Lafont et al.; (2011) a través de su análisis químico.

En la investigación de González (2023), se destaca el resultado de un análisis realizado por un laboratorio certificado, en donde detectaron la presencia de aceites minerales como aditivo en el combustible diésel. Por otra parte, Arias (2023) menciona como sustancias adulterantes del diésel, a los alcoholes industriales y aceites productos del procesamiento de plásticos.

Otros aditivos reportados en la literatura son aceites vegetales, aceites residuales, queroseno o biodiésel (Lyra, 2015).

## 2.7 Calidad

La Organización Internacional de Normalización, ISO 9000 (2015) define la calidad como el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos establecidos previamente.

## 2.8 Consecuencias de la adulteración de combustibles

La adulteración de combustibles es un proceso intencionado en donde se sustituye parte del volumen del combustible con otro de similar naturaleza molecular, de diferentes propiedades fisicoquímicas y con menor precio, con el fin de disminuir gastos y obtener utilidades ilícitas (Matos, 2002).

El empleo de combustible adulterado conlleva a una serie de consecuencias tanto ambientales como financieras (Lyra, 2015).

Algunas de las consecuencias más comunes son:

- Alteración y variación de las propiedades fisicoquímicas del combustible
- Desgaste de piezas fundamentales para el funcionamiento del motor
- Aumento de consumo y pérdida de rendimiento
- Obstrucciones y fallas en la bomba de combustible

- Emisiones de gases contaminantes y material particulado

La adulteración del combustible conlleva a un producto de calidad deficiente, que a su vez trae consigo consecuencias ambientales, deteriorando la calidad del aire a través de emisiones de gases y partículas contaminantes (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y PM) (Ruiz & Behrentz, 2009).

## 2.9 Estaciones de servicio

Las tres estaciones de servicio a muestrear se encuentran en Paraíso, Tabasco son escogidas por su ubicación geográfica, ser las más concurridas del municipio y tener contratos directos con compañías de transporte de la zona.

### a) Gasolinera Bp

British Petroleum, es de origen inglés, con sede en Londres, Reino Unido, ubicada en Paraíso, Tabasco en el Blvd. Manuel Antonio Romero, Zurita Calle Alamo. Coordenadas: 18°23'05"N 93°13'16"W, Puntos UTM: 15 Q, 476618.00 m E y 2032773.00 m N.

### b) Gasolinera Orsan

Con origen en Nuevo León, pertenece a los grupos gasolineros de México, su ubicación en el municipio de Paraíso, Tabasco es carretera dos bocas, Col. Limón. Coordenadas: 18°24'35"N 93°12'51"W, Puntos UTM: 15 Q, 477389.00 m E y 2035527.00 N.

### c) Gasolinera PEMEX

Petróleos Mexicanos es la empresa petrolera nacional más grande de México, en Paraíso Tabasco la estación de servicio elegida se encuentra en Libramiento a Puerto Dos Bocas, No.841, El limón. Coordenadas: 18°24'23"N 93°12'56"W, Puntos UTM: 15 Q, 477231.00 m E y 2035138.00 m N.

### 3. Antecedentes

La literatura revisada reporta adulteraciones acerca de la gasolina, ocasionando interés acerca de las posibles modificaciones del combustible diésel, además de su gran uso por el transporte y maquinaria pesada que recientemente transitan en la localidad y las consecuencias que trae consigo la alteración del combustible, todo esto induce cierto interés a la evaluación de la calidad del diésel, en la zona de Paraíso, Tabasco.

Para contextualizar esta problemática, a continuación, se presenta una concisa descripción de información relevante de distintas fuentes y perspectivas que servirán como marco de referencia en esta investigación.

La adulteración de combustibles se puede identificar mediante la evaluación de las propiedades de este mismo, a través de la variación del punto de ebullición final, densidad y contenido de azufre, Bello et al., (2000). Estos mismos describen que las modificaciones de los parámetros fisicoquímicos mencionados traen consigo consecuencias relacionadas con el nivel de emisiones de material particulado. Destacando que el parámetro con mayor relevancia es el número de cetano que tiene efectos sobre el funcionamiento del motor y sus emisiones. Otro parámetro con importancia es la curva de destilación de los combustibles, una elevada temperatura de destilación se encuentra relacionada con mayores emisiones de hidrocarburos.

Por otra parte la adulteración de los combustibles es común para reducir costos, Matos & Pablo (2002) mencionan que esta actividad se lleva a cabo antes de distribuirlos en las estaciones de servicio y que entre los productos frecuentemente modificados se encuentra el diésel, en esta investigación se realizan pruebas fisicoquímicas siguiendo los estándares de American Society for Testing and Taterials para determinar el número de cetano (D4737), destilación (D-86), densidad (D-1298) y punto de inflamación (D-93).

Entre los datos obtenidos por dicho autor encuentra modificaciones del combustible con queroseno, infiriendo que este adulterante altera el punto final de ebullición, no reporta conclusiones acerca de la adulteración del diésel, sin embargo, menciona que el queroseno adicionado a la gasolina provoca una disminución del octanaje que

consecuentemente provoca daños estructurales al motor, aumentando emisión de contaminantes pese a la incorrecta combustión.

La adulteración de combustibles no solo es un problema presente a nivel local, ni mucho menos nacional, dado es el caso de la investigación presente en Guatemala, Aguirre (2003) donde indaga la posible modificación de combustible en las estaciones de servicio, llevando a cabo un análisis de la calidad a través de la implementación de evaluaciones periódicas del combustible de distintas marcas, donde analiza parámetros como densidad, presión de vapor en gasolinas, contenido de azufre y número de cetano, siguiendo los métodos ASTM y comparándolo con los estándares de calidad exigidos en Guatemala expuestos en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones del diésel establecidos en Guatemala, reportados por (Aguirre, 2003).

| Propiedad                     | Especificaciones |
|-------------------------------|------------------|
| Índice de cetano              | 45 min.          |
| Punto de Inflamabilidad       | 52 °C min.       |
| Contenido de azufre en % masa | 0.50%            |

Entre los análisis de resultados obtenidos infiere que encuentra adulteraciones notables y que existen varias estaciones que comercializan productos que no cumplen con los estándares de calidad.

Otro análisis de suma importancia realizado por Reyes (2007), describe la caracterización de las propiedades del diésel para la determinación de la calidad de este combustible, así como aborda la comparación de los resultados de este, con resultados estándares de otros países, donde a través de estos determinó si cumplía con las especificaciones de calidad. El estándar que toma como referencia es el reportado por Australia en del departamento de medio ambiente que se encuentra en la tabla 6 y consecuentemente reporta los datos obtenidos en su investigación expuestos en la tabla 7.

Tabla 6. Estándares de algunas propiedades del diésel por el departamento de medio ambiente Australia (Reyes,2007).

| <b>Análisis</b>     | <b>Estándar</b>     |
|---------------------|---------------------|
| Contenido de azufre | 10 mg/Kg (ppm) máx. |
| Cetano              | 46                  |
| Destilación al 95 % | 360 °C              |

Una aportación con relevancia es la importancia que expone de las fracciones de las destilaciones, ya que destaca que los intervalos de destilación ayudan a evidenciar el comportamiento que se puede esperar en la combustión, transporte y el almacenamiento de este mismo.

Tabla 7. Resultados experimentales de las propiedades del diésel en el estudio de (Reyes,2007).

| <b>Propiedades</b>  | <b>Resultados experimentales</b> |
|---------------------|----------------------------------|
| Densidad            | 820 kg/m <sup>3</sup>            |
| Contenido de azufre | 50 ppm                           |
| IBP                 | 201 °C                           |
| Al 10%              | 209 °C                           |
| Al 50%              | 260 °C                           |
| Al 90%              | 323 °C                           |
| FBP                 | 360 °C                           |

Por último, entre las observaciones realizadas por el autor encuentra que el combustible cumple en su mayoría con ciertas características, sin embargo, es deficiente en el contenido de azufre, que se encuentra relacionado con emisiones nocivas para la atmósfera, de igual manera hace mención que Bogotá, Colombia debería tener énfasis en los puntos donde tuvo mayor discrepancia, para que así el país no quede rezagado en cuestiones de calidad del combustible.

Una evaluación significativa de la evolución de la calidad del diésel desde los 90's en Colombia la hace Arango (2009), haciendo énfasis en los análisis de contenido de azufre, curva de destilación y contenido de aromáticos para la verificación de la calidad del combustible, a través de esta investigación destaca que el diésel de Colombia es uno de los más bajos en contenido de azufre con respecto a Latinoamérica, además que en dicho trabajo infiere que existe una relación importante entre la calidad del aire con la calidad de los combustibles distribuidos, afirmando que tienen una importante incidencia, pero no dejando fuera otras actividades, en la figura 6 se muestran algunas de las incidencias con respecto a la calidad del aire deducida por el autor.

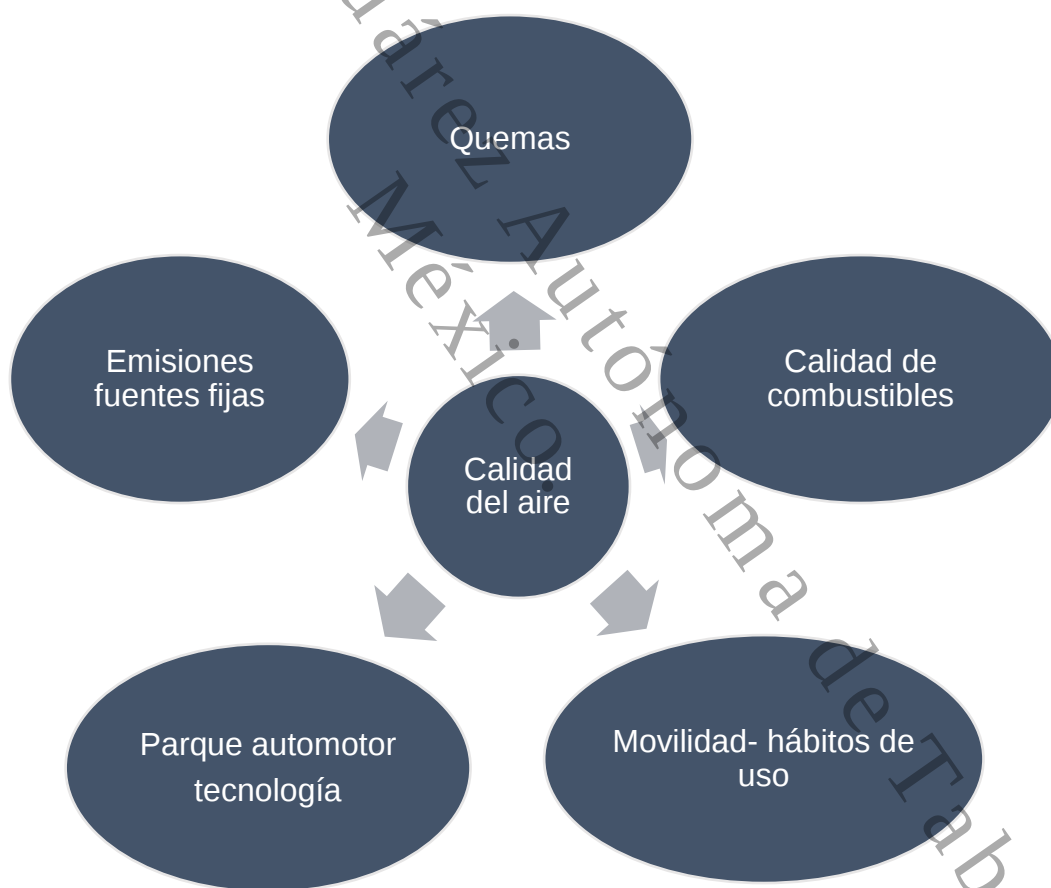


Figura 5. Enfoque integral en la calidad del aire (Arango, 2009).

En esta misma línea se encuentra la investigación de Ruiz y Behrentz (2009) donde realizan un análisis de combustibles en las estaciones de servicio de localidades urbanas de Bogotá, analizando gasolinas y aceite combustible para motores diésel (ACPM), donde evalúa los parámetros de calidad según lo establecido en la norma colombiana, contenido de azufre, densidad, aromáticos, presión de vapor, destilación, etcétera, encontrando casos puntuales de muestras de combustibles con baja calidad, deduciendo una adulteración del combustible y recalando que, aunque algunos parámetros cumplen con la normativa colombiana, se diferencian notablemente de los estándares de calidad a nivel internacional.

A través de los datos recabados de Ruiz y Behrentz (2009) exponen en la figura 6 muestras con comportamientos atípicos, en donde señala que las curvas superiores al promedio corresponden a adulteraciones con fracciones pesadas, como el crudo y aceite quemado, por otro parte la curva con valores inferiores puede identificar adulteraciones con fracciones livianas como el queroseno.

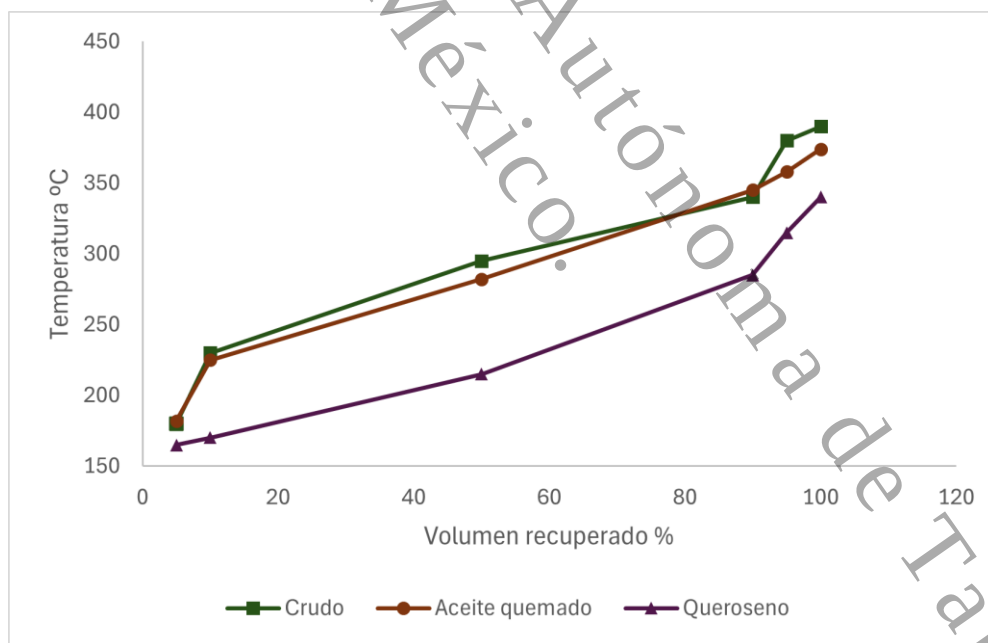


Figura 6. Curvas de destilación de muestras con comportamientos atípicos (Ruiz y Behrentz, 2009).

Sin embargo, para Bogotá el único requisito de calidad para el ACPM es en el intervalo de temperatura para el punto del 95 % de la destilación (280-360 °C), encontrando así a través del análisis una sola muestra con una temperatura superior al máximo permitido en la norma.

De igual manera una modificación adrede del combustible puede afectar el contenido de azufre y un mal reglamento de este provoca la acumulación en los inyectores, trayendo consigo un mal funcionamiento del aceite lubricante del motor para la reducción del impacto de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>. En presencia de vapor de agua en los gases de escape, estos óxidos forman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que corroe las partes lubricadas por el aceite (Rodríguez, 2012).

Otra importante contribución es dada por Rodríguez (2012), donde a través de su investigación, menciona los estándares permisibles de la Carta Mundial de Combustibles (WWFC), donde especifica las propiedades a tener en cuenta y los límites que este debe cumplir, presentados a continuación en la tabla 8, que este toma como referencia para el análisis de contenido de azufre en el combustible que evalúa, concluyendo que los parámetros analizados en su mayoría no cumplen con los límites expuestos en la norma, deduciendo una posible adulteración del combustible.

Tabla 8. Especificaciones del diésel automotriz de la WWFC (Rodríguez, 2012).

| Especificaciones del diésel automotriz de la WWFC  |                   |         |        |
|----------------------------------------------------|-------------------|---------|--------|
| Propiedades                                        | Unidades          | Límites |        |
|                                                    |                   | Mínimo  | Máximo |
| Número de cetano                                   | -                 | 48      |        |
| Índice de cetano                                   | -                 | 48      |        |
| Densidad a 15 °C                                   | kg/m <sup>3</sup> | 820     | 860    |
| Contenido de azufre                                | mg/kg             |         | 2000   |
| Temperatura a la que destila el 95 % de la muestra | °C                |         | 370    |
| Temperatura de inflamación                         | °C                | 55      |        |

En esta misma línea Castillo et al., (2012) a través de sus análisis aborda evaluaciones de gasolina y diésel reformulado con etanol, analizando la mezcla etanol-diésel a través de los métodos ASTM siguientes: curva de destilación ASTM D-86, número de cetano ASTM D-613 y punto de inflamabilidad ASTM D-93. Obteniendo los siguientes resultados en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros analizados en la mezcla etanol-diésel (Castillo et al., 2012).

|                                                   | <b>0 % vol.<br/>EtOH</b> | <b>10 % vol.<br/>EtOH</b> | <b>15 % vol.<br/>EtOH</b> |
|---------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Temperatura inicial de ebullición (TIE) °C</b> | 175.8±1.6                | 65.7±21.0                 | 78.0±0.1                  |
| <b>10 % Evap, °C</b>                              | 200.1±1.4                | 112.6±53.8                | 79.5±2.3                  |
| <b>50 % Evap, °C</b>                              | 267.5±0.3                | 256.5±2.3                 | 258.2±0.9                 |
| <b>90 % Evap, °C</b>                              | 336.3±10.2               | -                         | -                         |
| <b>Temperatura final de ebullición (TFE) °C</b>   | 357.5±3.0                | 354.1±6.9                 | 349.4±12.3                |
| <b>Recuperado %</b>                               | 98.2±0.3                 | 89.4±4.1                  | 86.4±0.9                  |
| <b>Residuo %</b>                                  | 0.8±0.4                  | 10.5±4.1                  | 13.5±0.9                  |
| <b>Pérdida %</b>                                  | 1.0±0.2                  | 0.1±0.0                   | 0.1±0.0                   |

El análisis de estos autores concluye que la adición del etanol disminuye el número de cetano, su punto de inflamabilidad y sus puntos de ebullición mostrados en la tabla 9 y 10. Estos mismos enfatizan que el etanol afecta la recuperación total de la mezcla en la destilación, modificando las propiedades fisicoquímicas del combustible, tomando papel como sustancia adulterante.

Tabla 10. Valores promedio del número de cetano y punto de inflamabilidad en la mezcla etanol-diésel (Castillo et al., 2012).

| Concentración de etanol<br>(% vol.) | Diésel           |                            |
|-------------------------------------|------------------|----------------------------|
|                                     | Número de Cetano | Punto de inflamabilidad °C |
| 0 %                                 | 52.6±0.5         | 53.9±1.6                   |
| 10 %                                | 45.6±1.0         | 23.3±1.7                   |
| 15 %                                | 45.8±1.8         | 26.9±1.1                   |

Otro caso de adulteración de combustibles es expuesto por Lyra (2015), donde estudia la adulteración del diésel por aceites naturales, grasas saturadas y queroseno, a través de la evaluación de los ensayos fisicoquímicos como punto de inflamación y destilación atmosférica. Este mismo recalca que en la adulteración del diésel se encuentran disolventes como el queroseno, adición de aceites vegetales y residuales. A continuación, se muestran los datos que el autor recabo, en su investigación acerca de algunos de los parámetros fisicoquímicos.

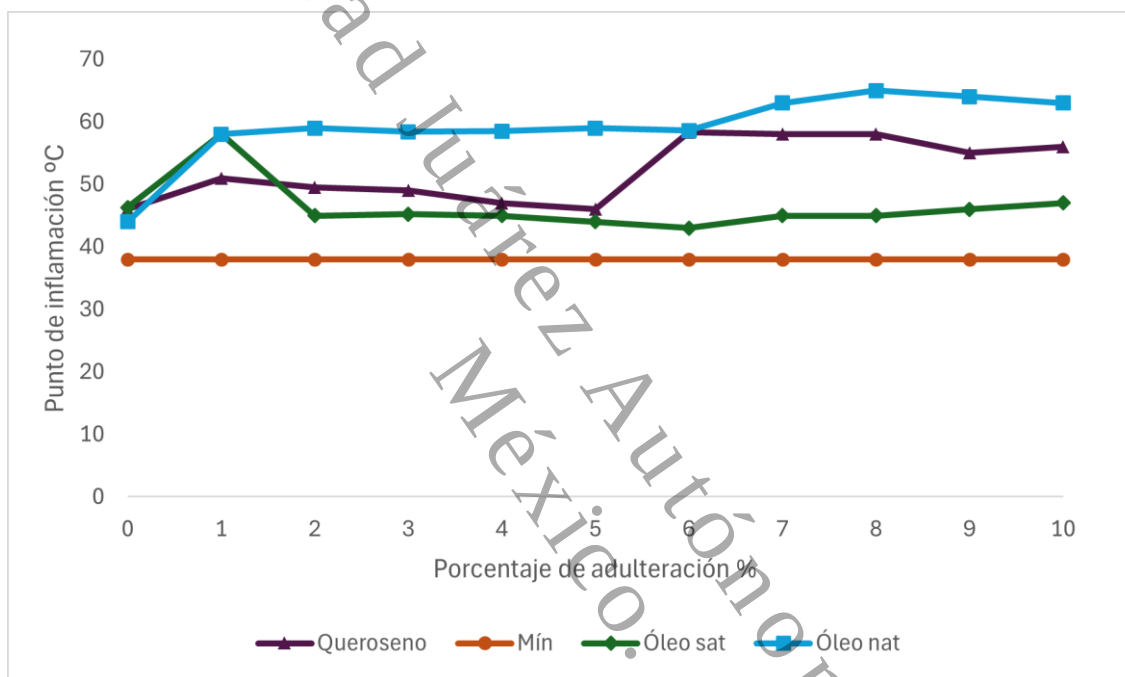


Figura 7. Puntos de inflamación de diésel adulterado (Lyra, 2015).

En la figura 7, el autor antes mencionado expone el punto de inflamación mínimo del diésel requerido por la norma que rige el país (ANP 50/2013) y consecuentemente la adulteración con queroseno, aceite saturado, aceite saturado natural. A través del análisis e interpretación de estos resultados expone que en todos los casos del diésel modificado hasta el 10 % se encuentran dentro de la norma vigente.

Para el caso de la figura 8, se visualiza los valores de temperatura en la destilación con un 85 % recuperado de las muestras, concluyendo que no alcanzaron el máximo permitido por la norma.

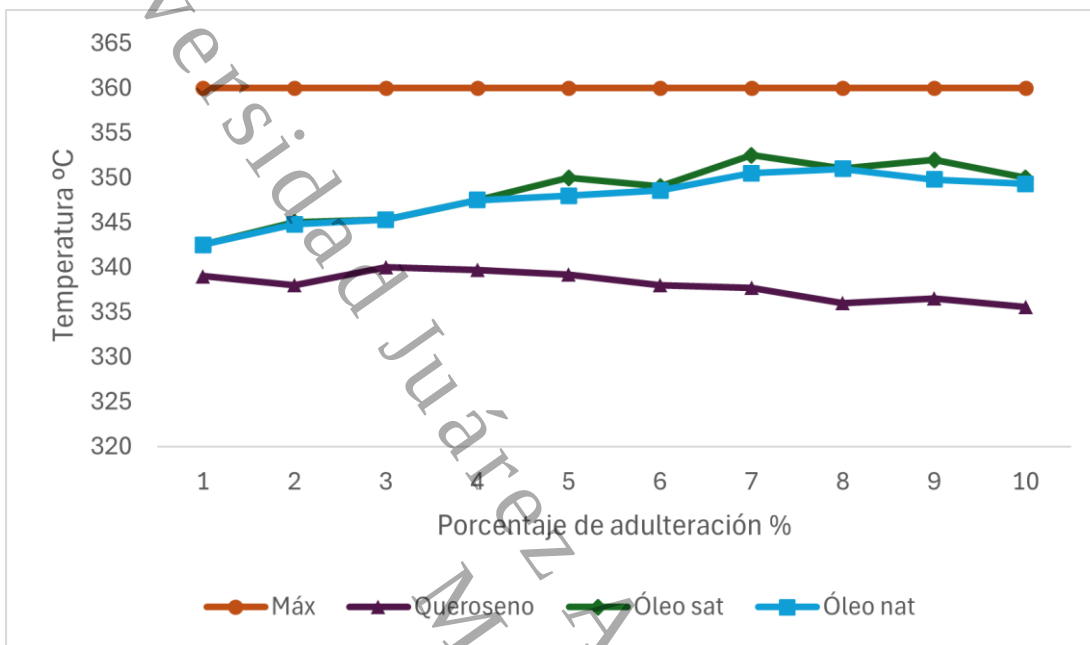


Figura 8. Curva de destilación del diésel adulterado (Lyra, 2015).

Otro estudio representativo es el análisis de calidad del diésel en Costa Rica realizado periódicamente por 5 años, donde (Bazán, 2015) encuentra indispensable analizar los componentes principales de este combustible para determinar su calidad. En este destaca la relación que encuentra entre el punto de inflamación y la temperatura inicial de destilación, atribuyendo que ambas propiedades se encuentran dominadas por la presencia de fracciones livianas de combustible y una variación es indicativa de una posible contaminación con productos livianos, como la gasolina.

Los resultados experimentales que obtuvo lo llevan a la conclusión que la evolución de la calidad del diésel dio un cambio significativo de mejora con el paso de los años, esperando mejorar en los siguientes años. A continuación, se exponen los rangos encontrados de los parámetros analizados.

Tabla 11. Propiedades analizadas del diésel en Costa Rica (Bazán,2015).

| Propiedades analizadas | Resultados                    |
|------------------------|-------------------------------|
| Índice de cetano       | 45.621-46.629                 |
| Densidad               | 850.7-861.1 kg/m <sup>3</sup> |
| Flash point            | 61.93-71.201 °C               |
| IBP                    | 174.0-184.3 °C                |
| AI 10 %                | 211.8-223.6 °C                |
| AI 50 %                | 269.8-282.5 °C                |
| AI 90 %                | 341.5-352.9 °C                |
| FBP                    | 350.5-367.1 °C                |

Otra investigación reportada por SEDEMA (2017) lleva a cabo la evaluación de gasolinas y diésel para poder determinar la calidad de estos, destacando los datos analizados en la tabla 12. Dentro del análisis de la investigación destacan que la calidad de los combustibles es un factor relacionado a la emisión de contaminantes.

Tabla 12. Análisis de calidad del diésel (SEDEMA, 2017).

| Diésel                    | Índice de cetano | Aromáticos (%) | Contenido de azufre (ppm) | Punto de inflamación (°C) |
|---------------------------|------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| Octubre                   | 53.5             | 26.60          | 11.9                      | 58.3                      |
| Noviembre                 | 51.5             | 27.90          | 9.6                       | 58.4                      |
| Diciembre                 | 50.5             | 29.90          | 9.6                       | 59.1                      |
| PROMEDIO                  | 51.83            | 28.10          | 10.37                     | 58.6                      |
| Normativa                 | >45              | <35            | <15                       | >45                       |
| Cumple                    | SI               | SI             | SI                        | SI                        |
| Muestras fuera del limite | N/A              | 13             | 5                         | N/A                       |

A través de este análisis se alude la importancia de que los combustibles cumplan con los estándares marcados en la normativa para minimizar el impacto ambiental, y asegurar un mejor funcionamiento en los motores.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se lleva a cabo a través de la NOM-016-CRE-2016 en donde se encontraron las especificaciones de calidad, con el objetivo de monitorear dichos combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México, obteniendo los siguientes resultados, reportando que los parámetros obtenidos cumplen con las especificaciones de la norma.

Otra problemática sobre la modificación de combustibles la refiere Boluda (2020) en donde en su investigación, reporta la adulteración de gasolinas aportando información valiosa con respecto a algunos métodos analíticos que serán de utilidad para evaluar el diésel, destaca la determinación de la curva de destilación, densidad, en la gasolina evalúa octanaje, para el caso del número de cetano, este autor concluye de manera representativa que conocer los parámetros fisicoquímicos del combustible, es de gran utilidad para visualizar adulteraciones del combustible, debido a que cualquier tipo de adulterante cambiara la composición original de este y para poder analizar la calidad de estos se encuentran los métodos ASTM.

Por ultimo y no menos importante en la investigación del centro de estudios y control de contaminantes en Honduras (CESCCO) que en 2018 evaluaron la calidad del diésel a través del análisis de parámetros como contenido de azufre, densidad e índice de cetano, Serrano y Paz (2023) encontraron que, aunque la mayoría de las estaciones de servicio cumplían con los estándares de calidad, algunas de ellas tenían altos niveles de azufre y densidad, sugiriendo posibles casos de adulteración del combustible. En su entrevista a expertos del tema menciona que estos atribuyen que las características del diésel, como su contenido de azufre, presencia de contaminantes y propiedades fisicoquímicas, afectan la vida útil y rendimiento de los motores y en las emisiones contaminantes, infiriendo una relación negativa entre la calidad del diésel y la eficiencia tanto en su consumo como en el motor.

En resumen, la revisión de la literatura ha demostrado que las adulteraciones de combustible son un problema muy común, que afecta de forma legal, ambiental y estructuralmente al motor, aunque se ha avanzado significativamente en el estudio de estos análisis, son pocas las investigaciones encontradas acerca del diésel comercial, cabe recalcar que su uso de igual forma es significativo y aún más para empresas que

usan maquinarias y transporte pesado. Estudios previos han abordado análisis de este combustible sin embargo no abordan el hecho de si este se encuentra en cumplimiento con la normatividad del país. Por lo tanto, la presente investigación se enfoca en analizar las propiedades fisicoquímicas del combustible diésel en las estaciones de servicio comerciales Bp, Orsan y Pemex con el propósito de verificar que estos cumplan con los estándares de calidad según la NOM-016-CRE-2016, a través de la colaboración de AMSPEC. En la siguiente sección, se detallará la metodología empleada para abordar dicha investigación y resolver las preguntas y problemática de esta misma.

## 4. Planteamiento del problema

Los combustibles fósiles son una fuente prominente de energía en el planeta, haciendo su consumo necesario. Ante el uso frecuente de este combustible se cometen actos ilícitos para reducir su costo, obtener mejores ganancias, etc. El investigador Matos (2002) señala la modificación de combustibles en la etapa final de distribución, donde durante su transporte a las estaciones de servicio son adulterados con otros derivados del petróleo de similar estructura molecular pero con diferentes propiedades fisicoquímicas y con menos costos, para poder obtener beneficios ilícitos, trayendo consigo problemas como mayor consumo de combustible en el vehículo, daños en el motor y un aumento en la contaminación ambiental.

Es de suma importancia mencionar que el uso desmedido del diésel ha aumentado gracias a su aplicación en nuevos motores de autotransporte, en el transporte público, maquinaria pesada, propulsión ferroviaria, y otras actividades industriales. Su creciente empleo se debe a algunas de sus ventajas en cuanto a eficiencia de la combustión, menor emisión de contaminantes en comparación con la gasolina y menor precio, pese a su gran empleo se han encontrado distintas formas de modificar el combustible para conseguir beneficios ilegales (Taboada, 2009).

En la literatura se destaca la modificación del combustible a través de compuestos con estructura química similares, sin embargo, una forma de adulterar el combustible es mencionada por Lyra (2015) donde destaca la alteración del diésel a través de la mezcla de aceites vegetales, aceites residuales y adición de disolventes como el queroseno o biodiésel, trayendo consigo un desajuste de las características originales del combustible con respecto a las especificaciones de la norma y otras propiedades necesarias para que el motor funcione en perfecto estado.

En España M.C (2021) destaca el caso en que las estaciones de servicio “low cost” vendían diésel adulterado, modificando su composición técnica para evitar los controles fiscales comunitarios. Por sus nuevas propiedades este producto carecía de las garantías de calidad, haciendo que su uso produzca daños importantes en los motores.

De igual manera a través del reporte realizado por la Agencia Internacional de Energía, Serrano y Paz (2023) destacan que alrededor del 60 % del consumo de diésel a nivel mundial se usa en el transporte de mercancías, aludiendo su relevancia en abordar la calidad del diésel en la industria del transporte.

La adulteración de combustibles no queda solo en teoría, González (2023) reporta que en México al menos el 30 % de cada litro de combustible es modificado adrede y llega a ser comercializado en las estaciones de servicio y por consecuencia a los consumidores finales, cambiar las propiedades del combustible trae consigo pérdida de ingresos fiscales, daños mecánicos y contribuye al impacto ambiental y consecuentemente efectos nocivos para la salud.

Este mismo autor reporta datos de la CIEFSA (laboratorio certificado) en donde 80 % de los combustibles que ha analizado fueron adulterados, es decir, 70 % del producto es gasolina, mientras que el 20 % son naftas ligeras y el 10% son alcoholes, mientras que el diésel es mezclado con aceites minerales.

De igual manera otro reporte de Arias (2023) alude que la adulteración del combustible es realizada antes de entregarla a las estaciones de servicio y entre los métodos de adulteración se encuentra el empleo de aditivos como alcoholes industriales y aceites, productos del procesamiento de plásticos.

Ante esta problemática acerca de la adulteración del diésel se trabaja en conjunto con AMSPEC para poder corroborar los parámetros fisicoquímicos del combustible, realizando un muestreo por cada estación de servicio, tomando en cuenta las más concurridas y que tienen contratos directos con empresas de transporte en la zona de Paraíso, Tabasco, incluyendo BP, Orsan y Pemex, en donde a través del análisis de las muestras es posible verificar y evaluar la calidad del combustible según los límites de la norma.

## 5. Justificación

Es indispensable analizar los parámetros fisicoquímicos del diésel, estos aseguran que el combustible cumpla con las especificaciones de calidad y normatividad establecida, descartando una modificación adrede y a su vez contribuir con la disminución del impacto ambiental, proporcionando un mejor control en la emisión de contaminantes, un mejor funcionamiento y vida útil del motor.

A lo largo de esta investigación se realizó las evaluaciones correspondientes de acuerdo con la NOM-016-CRE-2016, con la colaboración de AMSPEC para la verificación de las propiedades fisicoquímicas a través de las pruebas de contenido de azufre, la curva de destilación, punto de inflamación e índice de cetano, para poder descartar una modificación intencional en el combustible.

A través de la literatura se alude que las modificaciones de los parámetros como el punto final de ebullición, densidad y contenido de azufre, se relacionan con el nivel de emisiones de material particulado. Bello et al., (2000) destacan que el parámetro con mayor relevancia es el número de cetano que tiene efectos sobre el funcionamiento del motor y sus emisiones. Otro parámetro con importancia es la curva de destilación de los combustibles, una elevada temperatura de destilación se encuentra relacionada con mayores emisiones de hidrocarburos y finalmente analiza que la variable que afecta las emisiones de material particulado es la densidad, contenido de aromáticos y el contenido de azufre.

En la evaluación de Bermúdez y Martínez (2003) se determina la influencia sobre la composición del diésel acerca de las emisiones y considera que las características fisicoquímicas como densidad, azufre, temperaturas de destilación y número de cetano ayudan a definir la formulación del combustible más apropiado para la disminución de emisiones contaminantes.

De igual manera se menciona la importancia del análisis fisicoquímico del combustible destacando que el contenido de azufre en el combustible diésel se relaciona directamente con las emisiones de material particulado, responsable en gran medida del

problema de contaminación, que a su vez trae una inmensa cantidad de enfermedades respiratorias a la población, siendo una razón contundente de analizar y verificar que el combustible cumpla con los parámetros establecidos en la región (Chacón, 2006).

Argumentando la verificación de los parámetros fisicoquímicos del diésel para descartar posibles adulteraciones, Ruiz y Behrentz (2009) corroboran que la evaluación de las propiedades del combustible contribuye a un diésel de mayor calidad.

Es necesario comprobar si el combustible es adecuado para el funcionamiento del motor, Aleme (2011) destaca que la verificación del combustible se implementa a través del análisis de los parámetros fisicoquímicos como destilación, viscosidad etc. Según la norma del país.

Así mismo los métodos analíticos, permiten detectar la presencia de compuestos o sustancias adulterantes. Boluda (2019) en su investigación abarca dichas técnicas específicamente para las gasolinas, sin embargo, algunas de ellas son aplicables al diésel.

Dicho autor menciona que la presencia de las sustancias adulterantes modificará la curva de destilación en alguna de las secciones, y que hacer una comparación con una muestra no contaminada aportaría información necesaria para saber si dicho combustible ha sido modificado y con un análisis más minucioso saber la naturaleza del adulterante. De igual forma menciona la importancia de conocer la densidad del combustible, ya que a mayor volumen del adulterante habrá un incremento de la densidad del combustible. En pocas palabras la adulteración de los parámetros fisicoquímicos en comparación de una muestra no contaminada que notifica acerca de la calidad del combustible.

Por otra parte, la investigación de Serrano y Paz (2023) mencionan que una baja calidad del diésel puede afectar el rendimiento del motor, disminuir la eficiencia, provocar emisiones y generar mayores niveles de contaminantes atmosféricos. La contaminación de aire es uno de los principales problemas que afecta a la población entera, ya que este es uno de los mayores riesgos ambientales que existen para la salud. En 2019 la contaminación del aire provocó en todo el mundo 4.2 millones de muertes prematuras, además de causar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (OMS, 2022),

por estas razones, garantizar la calidad del combustible a través del análisis y verificación contribuye a un mejor control de emisiones contaminantes y a su vez la disminución de la contaminación del aire.

En su mayoría las evaluaciones de los parámetros fisicoquímicos se encuentran limitadas por las normas establecidas en el país en cuestión, en México, el cumplimiento normativo de las especificaciones de combustibles se encuentra bajo la NOM-016-CRE-2016 que lleva por título especificaciones de calidad de los petrolíferos, siendo esta la norma que delimitara los estándares y valores en el análisis de las muestras.

Argumentando que no reportan datos acerca de análisis de calidad de combustibles en el estado de Tabasco, y las revisiones bibliográficas encontradas abarcan el análisis de gasolinas, siendo muy pocas o nulas del diésel, por ello se desea abordar un análisis y evaluación del diésel en las estaciones de servicio más concurridas; Bp, Orsan y Pemex ubicadas en el municipio de Paraíso, Tabasco.

## 6. Pregunta principal de investigación

La adulteración de combustible es una problemática de suma relevancia que tiene como fin modificar las propiedades del combustible para reducir costos, aumentar el volumen y obtener tener utilidades ilícitas (Matos, 2002).

La modificación adrede de combustible provoca una disminución acerca de la calidad de este, desencadenando daños al funcionamiento del motor, emisión de contaminantes y problemas fiscales.

Ante dicho contexto se pretende resolver a las preguntas de investigación:

¿Se encuentra adulterado el combustible diésel en las estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco?

¿El combustible diésel comercializado cumple con las especificaciones de la norma NOM-016-CRE-2016?

¿Las propiedades fisicoquímicas del diésel cumplen con los estándares de calidad?

## **7. Hipótesis**

El combustible diésel que se comercializa en las estaciones de servicio en Paraíso Tabasco (Orsan, Bp y Pemex) se encuentra adulterado. Corroborando esta adulteración de acuerdo con las especificaciones de la norma NOM-016-CRE-2016.

## **8. Objetivos**

### **8.1 Objetivo general**

Analizar las propiedades fisicoquímicas del combustible diésel en las estaciones de servicio comerciales Bp, Orsan y Pemex con el propósito de verificar que estos cumplan con los estándares de calidad según la NOM-016-CRE-2016.

### **8.2 Objetivos específicos**

- 1.1. Evaluar las propiedades y características del combustible a través de las pruebas de control establecidas por la NOM-016-CRE-2016
- 1.2. Identificar el contenido de azufre, índice de cetano, curva de destilación, densidad y punto de inflamación en el combustible siguiendo los métodos ASTM correspondientes para cada parámetro.
- 1.3. Verificar y asegurar la calidad para evitar posibles adulteraciones del diésel en las estaciones de servicio Bp, Orsan, Pemex.

## 9. Metodología experimental

Siguiendo las especificaciones de la CRE, la verificación de la calidad del combustible diésel en estaciones de servicio debe comprobarse anualmente con una muestra puntual, así como de la misma los análisis llevados a cabo se siguieron por los métodos ASTM previamente mencionados (DOF, 2016).

A continuación, se detalla la metodología que se desarrolló para el análisis de las tres muestras diésel de las estaciones de servicio (Pemex, Bp y Orsan) a través de la medición de densidad, contenido de azufre, destilación, punto de ignición e índice de cetano, en esta investigación para abordar las preguntas y objetivos planteados.

### 9.1 Selección de estaciones de servicio

Las tres estaciones de servicio a muestrear se encuentran en Paraíso, Tabasco son escogidas por su ubicación geográfica y tener contratos directos con compañías de transporte de la zona.

#### a) Gasolinera Bp

Ubicada en Paraíso, Tabasco en el Blvd. Manuel Antonio Romero Zurita, Calle Alamo. Coordenadas: 18°23'05"N 93°13'16"W, Puntos UTM: 15 Q, 476618.00m E y 2032773.00 m N.

#### b) Gasolinera Orsan

Ubicación en el municipio de Paraíso, Tabasco es carretera Dos Bocas, Col. Limón. Coordenadas: 18°24'35"N 93°12'51"W, Puntos UTM: 15 Q, 477389.00m E y 2035527.00 m N.

#### c) Gasolinera PEMEX

Se encuentra en Libramiento a Puerto Dos Bocas, No.841, El Limón. Coordenadas: 18°24'23"N 93°12'56"W, Puntos UTM: 15 Q, 477231.00 m E y 2035138.00 m N.

## 9.2 Muestreo del diésel

Se adquirió una muestra por estación de servicio, Bp, Orsan y Pemex, con un volumen total de 2 litros por estación, almacenándola a temperatura ambiente, como se indica en la (DOF, 2016).



Figura 9. Muestras diésel Bp, Pemex y Orsan, Imagen propia AMSPEC DB.

Para el desarrollo experimental de la investigación, la evaluación de las muestras se llevó a cabo de acuerdo con la metodología usada en AMSPEC y siguiendo las especificaciones mencionadas, sin antes descartar la reproducibilidad de los resultados al menos seis veces y un análisis comparativo entre cada estación de servicio para evaluar el cumplimiento de la norma.



Figura 10. Color de las muestras de diésel, Imagen propia AMSPEC DB.

En la figura 10, se puede observar las distintas tonalidades características de cada muestra, en donde la muestra de PEMEX, se nota de color amarillento oscuro, con tonalidades café y un poco oleosa. Por otro lado, la muestra ORSAN muestra un color amarillento claro y característicamente oleosa, por último, la muestra de Bp se muestra incolora, totalmente transparente con una ligera tonalidad verdosa y de apariencia oleosa.

A continuación, se explica la metodología correspondiente para cada parámetro fisicoquímico:

### 9.3 Densidad ASTM D4052

La evaluación de la densidad se llevó cabo con un densímetro digital DMA TM, Anton Paar, ubicado en el laboratorio de AMSPEC, Dos Bocas.



Figura 11. Densímetro digital DMA (Metro Digital Anton), Anton Paar, Imagen Propia en AMSPEC DB.

### Procedimiento experimental

1. Se agregan aproximadamente, 30 ml del combustible en un vaso de precipitados.
2. Con una jeringa pequeña, se extraen de 1 a 2 ml.

3. Se verificó que no se crearan burbujas dentro de la jeringa (en caso de tener se eliminaron).
4. La inyección de la muestra se realizó a  $\frac{3}{4}$  de la jeringa en el tubo de muestra limpio y seco del equipo.
5. Fue necesario esperar que el equipo regulará la temperatura a 20 °C para ejecutar el análisis.



Figura 12. Análisis de densidad del diésel, imagen propia AMSPEC DB.

Los resultados son visualizados en la pantalla del equipo y se genera un comprobante (ver figura 13). Para el caso del diésel se considera la densidad API 15 °C.

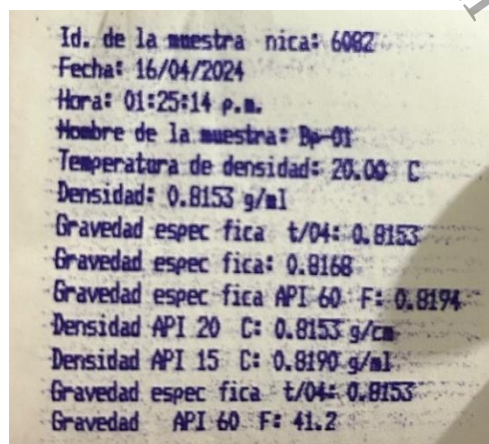


Figura 13. Comprobante de resultados densidad, imagen propia AMSPEC DB.

#### 9.4 Contenido de azufre ASTM D2622

El contenido de azufre fue analizado por un Equipo Sindie Sulfur Analyzer, en el laboratorio de AMSPEC, en Dos Bocas, Paraíso.



Figura 14. Analizador de azufre Sindie 2622-10, imagen propia AMSPEC DB.

#### Procedimiento experimental

1. Se seleccionó la curva de diésel del equipo.
2. Se colocaron aproximadamente 10 ml de muestra en un vaso de precipitados.



diésel en análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB.

3. La preparación de la muestra se realizó a través del llenado de la celda a dos terceras partes de su volumen y la colocación de la película transparente para sellar.



Figura 16. Celda para análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB.

4. Se realizó tres pequeños orificios de ventilación en la parte posterior de la celda, verificando que la película transparente no se encuentre doblada o rota.
5. Finalmente se coloca la celda en el porta muestras del equipo, realizando la lectura.

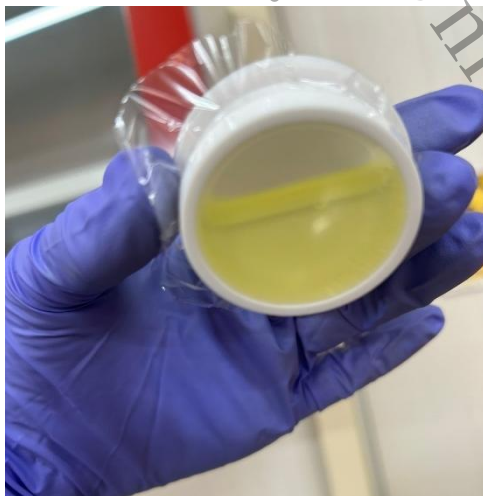


Figura 17. Muestra preparada análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB.

En la figura 18, se muestra a continuación un ejemplo del comprobante obtenido por el análisis de azufre.

```

*****
Benchtop Unit : XOS 1
Mode: 2622
Measurement Number : 20073
Date : 05/06/24
Time : 13:20
Description : BP 01
Measurement Time : 100
Vacuum: 3 torr
Source Temp: 42.0 deg C.
Cal. Curve : DIS0A500
PPM : 2.58 (62 Counts)
*****

```

Figura 18. Comprobante de resultado análisis de azufre, imagen propia AMSPEC DB.

#### 9.5 Destilación ASTM D86

Los puntos de ebullición se analizaron a través de un destilador automático AP-7, TANAKA, en AMSPEC Dos Bocas.



Figura 19. Destilador AP-7, TANAKA, Imagen propia AMSPEC DB.

## Procedimiento experimental

1. Se seleccionó la curva diésel y se procedió a esperar que el equipo regule la temperatura hasta que este indicó que se encuentra listo.
2. La medición de la muestra se realizó a través de la comprobación automática del equipo en donde se trasvasan 100 ml del combustible en la probeta y se procedió a medirla automáticamente.



Figura 20. Verificación automática del volumen de la probeta destilación, imagen propia AMSPEC DB.

3. Fue de suma importancia verificar la placa de calentamiento adecuada al combustible, para evitar que la superficie de contacto con la fuente de calor sea directa.



Figura 21. Placa de calentamiento del diésel, imagen propia AMSPEC DB.

4. Ya verificado el porcentaje total de la muestra, se trasvaso el combustible al matraz balón, colocando las perlas de ebullición para ensamblar con el termómetro.



Figura 22. Muestra colocada en el destilador, imagen propia AMSPEC DB.

5. Finalmente se monitoreó constantemente para visualizar los primeros puntos de ebullición y verificar que la temperatura se incrementará constantemente.



Figura 23. Destilación del diésel, imagen propia AMSPEC DB.

## 9.6 Punto de ignición ASTM D93

Se evaluó el punto de ignición a través del equipo Flash Point a copa cerrada apm-8, TANAKA, ubicado en laboratorio AMSPEC, Dos Bocas.



Figura 24. Flash point a copa cerrada apm-TANAKA, imagen propia AMSPEC-DB.

Procedimiento experimental.

1. Como primer punto se aseguró que la muestra y la copa se encontraran alrededor de 18 °C o debajo del punto de inflamación previsto.
2. Se procedió a llenar la copa hasta la marca interior, unos 50 ml aproximadamente.

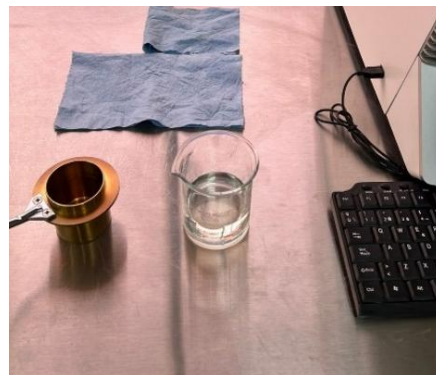


Figura 25. Copa del flash point, imagen propia AMSPEC DB.

3. Se introdujo la copa con la muestra, cerrando la parte superior del equipo y bajando la red de seguridad.
4. Finalmente se ajustó el punto de ignición que se espera de la muestra y se realiza el análisis.



Figura 26. Análisis de flash point, imagen propia AMSPEC DB.

5. Fue necesario inspeccionar el análisis para verificar un mejor control de la temperatura de la flama y de esta manera se evita dañar el equipo, resguardando nuestra seguridad.



Figura 27. Análisis de flash point finalizado, imagen propia AMSPEC DB.

### 9.7 Índice de cetano ASTM D976

Se evalúa el índice de cetano a partir de la gravedad API y el punto de ebullición promedio, este valor es conocido a través de una ecuación y su resultado se denomina índice de cetano calculado.

#### Procedimiento experimental

Este parámetro es calculado a través de la ecuación 4, conocida como el procedimiento A, sin embargo, la tecnología reciente nos facilita este cálculo, después de conocer la gravedad API y la densidad a 15 °C g/ml, se introduce este dato en el destilador automático y en breve nos dará el resultado del índice de cetano.

## 10. Resultados

Los resultados obtenidos fueron resultado de los experimentos realizados en AMSPEC Dos Bocas, esperando que los datos obtenidos sean de utilidad para verificar la calidad del combustible comparando los resultados con la NOM-016-CRE-2016 y a su vez descartar una posible adulteración de este mismo.

A través de la manipulación de las muestras se logró detectar observaciones acerca del combustible, destacando los colores característicos que se diferencian entre sí, Orsan tiene una tonalidad amarillenta, Bp carece de color y Pemex por su lado es la más oscura de todas. Además de que todas muestran una peculiaridad oleosa.



Figura 28. Muestras diésel Orsan, Bp y Pemex.

Los resultados obtenidos constan de seis repeticiones por análisis, por cada una de las tres las muestras analizadas (Bp, Orsan y Pemex), donde más adelante se mostrará la media de los datos, para finalmente referir las discusiones y conclusiones de la investigación.

## 10.1 Estación de servicio ORSAN

A continuación, se exponen los resultados de las densidades analizadas (un total de seis análisis) por la muestra de la estación de servicio Orsan, destacando que la experimentación de la muestra lleva a la deducción de un combustible denso. Su característico color amarillento claro, permite visualizar, su peculiaridad oleosa, además que los datos mostraron una alta similitud en los resultados, obteniendo una variación mínima de la densidad de estas muestras.

Tabla 13. Resultados experimentales densidad Orsan

| Muestra | Densidad a 15 °C<br>(g/ml)   |
|---------|------------------------------|
| 1       | 0.8467                       |
| 2       | 0.8467                       |
| 3       | 0.8467                       |
| 4       | 0.8467                       |
| 5       | 0.8468                       |
| 6       | 0.8468                       |
| MEDIA   | $0.8467 \pm 5.16\text{E-}05$ |

Teniendo en cuenta el marco referencial, los resultados se encuentran entre los parámetros establecidos por las especificaciones del diésel automotriz de la carta mundial de combustibles que menciona (Rodríguez, 2012), de acuerdo con la NOM-016-CRE-2016, menciona que debe de informarse, sin embargo, otros autores establecen que la densidad del diésel se estima de 0.835 - 0.860 g/ml aproximadamente, definiendo resultados satisfactorios.

En el análisis del punto de inflamación, como lo indica la (DOF, 2016), el mínimo valor que se espera es de 45 °C, sin embargo, las referencias encontradas indican que un diésel con buena calidad aproximarse entre los 52 – 55 °C, encontrando para los análisis de la muestra Orsan, resultados consistentes, donde la discrepancia y la variabilidad entre los resultados es pequeña.

Tabla 14. Resultados experimentales Flash Point Orsan

| Muestra | Flash Point °C |
|---------|----------------|
| 1       | 56.0           |
| 2       | 57.0           |
| 3       | 58.0           |
| 4       | 58.0           |
| 5       | 58.0           |
| 6       | 57.0           |
| MEDIA   | 57.3±0.81      |

Los datos recopilados del análisis de contenido de azufre para esta estación muestran valores muy mínimos, de los cuales se especifica que deben ser reportados como <3 mg/kg, los análisis de la muestra presentan inconsistencias relacionadas al bajo contenido de azufre, por ello es necesario reportar los resultados como menores a 3 mg/kg.

Tabla 15. Resultados experimentales contenido de azufre Orsan

| Muestra | Azufre PPM |
|---------|------------|
| 1       | 2.38       |
| 2       | 2.79       |
| 3       | 2.08       |
| 4       | 2.18       |
| 5       | 2.89       |
| 6       | 2.28       |
| MEDIA   | <3         |

En el caso de los resultados obtenidos de la destilación, se tomaron en cuenta el IBP, el 10 %, 50 %, 90 % recuperado y el punto final, tal y como lo especifica la normatividad. De acuerdo con las referencias mencionadas Castillo et al., (2012) encuentra como temperatura inicial  $175.8 \pm 1.6$  °C, en comparación con los puntos de ebullición analizados, se encuentran cercanos a los rangos establecidos por dicho autor, sin antes destacar que el comportamiento de la muestra no mostró ninguna anomalía en la destilación.

Tabla 16. Resultados de las muestras Orsan 1,2,3, destilación

|              | MUESTRA 1    |              | MUESTRA 2    |              | MUESTRA 3    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Recuperado | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 169.2        | 169.6        | 163.5        | 163.9        | 164.7        | 165.1        |
| 10           | 204.6        | 205.0        | 207.8        | 208.3        | 204.1        | 204.6        |
| 50           | 267.3        | 267.8        | 267.9        | 268.4        | 266.7        | 267.2        |
| 90           | 338.2        | 338.8        | 337.4        | 338.0        | 337.8        | 338.4        |
| FBP          | 363.7        | 364.3        | 363.1        | 363.7        | 363.6        | 364.2        |

Tabla 17. Resultados de las muestras Orsan 4,5,6, destilación

|              | MUESTRA 4    |              | MUESTRA 5    |              | MUESTRA 6    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Recuperado | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 164.6        | 165.1        | 161.4        | 161.9        | 165.3        | 165.7        |
| 10           | 205.2        | 205.7        | 203.8        | 204.3        | 203.3        | 203.7        |
| 50           | 268.3        | 268.9        | 266.7        | 267.3        | 267.3        | 267.7        |
| 90           | 338.4        | 339.1        | 337.2        | 337.9        | 338.3        | 338.8        |
| FPB          | 363.3        | 364.0        | 362.4        | 363.1        | 363.5        | 364.0        |

El índice de cetano calculado, muestra los siguientes datos, donde se puede observar que de acuerdo con las especificaciones de la normatividad superan el mínimo de 45 cetano, encontrando una consistencia en el índice de cetano calculado de la estación de servicio Orsan, presentando una variación mínima.

Tabla 18. Resultados experimentales índice de cetano calc. Orsan

| Muestra | Cetano calc. |
|---------|--------------|
| 1       | 47.6         |
| 2       | 48.0         |
| 3       | 47.5         |
| 4       | 47.8         |
| 5       | 47.4         |
| 6       | 47.5         |
| MEDIA   | 47.6±0.22    |

## 10.2 Estación de servicio Pemex

Las muestras de Pemex visualmente carecían de apariencia oleosa y se observaba menos densa que las demás muestras, los datos recopilados confirman la baja densidad de estas muestras, mostrando irregularidades inusuales con las densidades esperadas.

Tabla 19. Resultados experimentales densidad Pemex

| Muestra | Densidad a 15 °C (g/ml) |
|---------|-------------------------|
| 1       | 0.7992                  |
| 2       | 0.7989                  |
| 3       | 0.7995                  |
| 4       | 0.7997                  |
| 5       | 0.7998                  |
| 6       | 0.7995                  |
| MEDIA   | 0.7994±3.33E-04         |

Según la Agrupación gasoil (2024), la densidad del diésel debe estar alrededor de 0.832 g/ml, sin embargo, de acuerdo con las densidades obtenidas se encuentran por debajo del rango comparado, dejando incertidumbre acerca de estos resultados.

El análisis de flash point resultó complicado de concluir debido a que las muestras presentaron irregularidades, el equipo detectó vapores inflamables a temperaturas más bajas que las esperadas, interrumpiendo el análisis por seguridad, provocando que los resultados obtenidos no cumplan con las expectativas iniciales, encontrándose debajo de los límites establecidos en la NOM-016-CRE-2016, sugiriendo que esta anomalía puede deberse a contaminación de la muestra o adulteración de su composición química.

Tabla 20. Resultados experimentales Flash Point Pemex

| Muestra | Flash Point °C |
|---------|----------------|
| 1       | 31.8           |
| 2       | 29.1           |
| 3       | 38.0           |
| 4       | -              |
| 5       | -              |
| 6       | -              |
| MEDIA   | 33.0±4.56      |

Esta muestra presentó anomalías en los análisis anteriores y con respecto al contenido de azufre es más evidente que esta se encuentra contaminada o tiene la presencia de algún agente adulterante, ya que los datos recopilados de este análisis superan los 15 mg/kg que establece la NOM 016-CRE-2016 como límite superior que debe tener el combustible diésel.

Tabla 21. Resultados experimentales contenido de azufre Pemex

| Muestra | Azufre PPM  |
|---------|-------------|
| 1       | 161.37      |
| 2       | 170.10      |
| 3       | 171.92      |
| 4       | 170.40      |
| 5       | 173.04      |
| 6       | 165.93      |
| MEDIA   | 168.79±4.36 |

Los resultados de las destilaciones de las muestras de diésel PEMEX inician con temperaturas muy bajas, temperaturas que no corresponden a los puntos de destilación conocidos del diésel, sin embargo, no se detuvo la destilación para determinar a partir de qué punto inicia a salir el combustible esperado.

Tabla 22. Resultados de las muestras Pemex 1,2,3, destilación

| % Recuperado | MUESTRA 1    |              | MUESTRA 2    |              | MUESTRA 3    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 66.2         | 66.3         | 68.7         | 68.8         | 72.0         | 72.2         |
| 10           | 126.0        | 126.1        | 127.2        | 127.3        | 130.4        | 130.6        |
| 50           | 219.9        | 220.0        | 220.6        | 220.8        | 221.3        | 221.5        |
| 90           | 321.8        | 322.0        | 320.2        | 320.8        | 320.6        | 320.9        |
| FBP          | 364.1        | 364.3        | 364.1        | 364.4        | 365.3        | 365.6        |

Tabla 23. Resultados de las muestras Pemex 4,5,6, destilación

| % Recuperado | MUESTRA 4    |              | MUESTRA 5    |              | MUESTRA 6    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 71.7         | 71.9         | 73.7         | 74.0         | 73.6         | 73.9         |
| 10           | 129.4        | 129.7        | 131.3        | 131.6        | 131.9        | 132.2        |
| 50           | 221.4        | 221.8        | 222.1        | 222.5        | 222.9        | 223.3        |
| 90           | 323.2        | 323.6        | 322.9        | 323.4        | 322.0        | 322.5        |
| FBP          | 367.8        | 368.3        | 368.4        | 368.9        | 368.1        | 368.6        |

Las destilaciones realizadas para esta estación nos han permitido observar que los resultados del análisis de la muestra son inconsistentes con los parámetros esperados ya que se conoce que el diésel industrial se obtiene como una fracción con un punto de

ebullición entre aproximadamente 170 °C (punto de ebullición inicial) y 390 °C (punto de ebullición final), (Shell, 2004) sin embargo el diésel automotriz o gasóleo tiene una fracción con un punto de ebullición entre 200 °C y 360 °C, observando a través de los resultados que el diésel empieza a salir en el rango de temperatura aproximadamente después del 40 % del volumen. (Diésel, 2015). Sin embargo, de acuerdo con la normatividad al 10 % debería tener como máximo 275 °C, y al 90 % su límite máximo debe ser 345 °C, encontrándose estos resultados dentro de los estándares de la norma.

El índice de cetano calculado de las muestras de esta estación son los siguientes, encontrándose dentro del mínimo esperado por la norma.

Tabla 24. Resultados experimentales índice de cetano calc. Pemex

| Muestra | Cetano calc. |
|---------|--------------|
| 1       | 51.5         |
| 2       | 51.9         |
| 3       | 51.9         |
| 4       | 51.8         |
| 5       | 52.0         |
| 6       | 52.4         |
| MEDIA   | 51.9±0.29    |

### 10.3 Estación de servicio Bp

Físicamente la muestra de esta estación de servicio se podía visualizar sin tonalidades extrañas, su apariencia era oleosa notándose densa, obteniendo resultados consistentes con diferencias mínimas no representativas, según los datos referenciales en su mayoría establecen que la densidad de este combustible debe de encontrarse alrededor de 0.820 gr/ml, logrando argumentar que estos valores son muy cercanos y no demuestran algún comportamiento atípico de la muestra.

Tabla 25. Resultados experimentales densidad Bp

| Muestra | Densidad a 15 °C (g/ml) |
|---------|-------------------------|
| 1       | 0.8190                  |
| 2       | 0.8191                  |
| 3       | 0.8191                  |
| 4       | 0.8191                  |
| 5       | 0.8191                  |
| 6       | 0.8192                  |
| MEDIA   | 0.8191±6.32E-05         |

El análisis del flash point arrojó resultados que no presentan grandes variaciones, los datos son constantes y durante el análisis no se presentó ninguna anomalía, en comparación con la norma la verificación de estos se tiene un resultado positivo encontrándose por arriba de los 45°C como mínimo que establece la normatividad.

Tabla 26. Resultados experimentales Flash Point Bp

| Muestra | Flash Point °C |
|---------|----------------|
| 1       | 62.0           |
| 2       | 62.0           |
| 3       | 61.0           |
| 4       | 61.0           |
| 5       | 61.0           |
| 6       | 61.0           |
| MEDIA   | 61.3±0.51      |

El análisis de azufre de la estación de servicio Bp, nos confirma el bajo contenido de azufre que tienen las muestras, demostrando que se encuentran cumpliendo las especificaciones de la norma.

Tabla 27. Resultados experimentales contenido de azufre Bp

| Muestra | Azufre PPM |
|---------|------------|
| 1       | 2.58       |
| 2       | 2.38       |
| 3       | 2.89       |
| 4       | 2.69       |
| 5       | 2.18       |
| 6       | 2.69       |
| MEDIA   | <3         |

Los resultados encontrados para las muestras de Bp en el IBP, el 10%, 50%, 90% recuperado y el punto final se presentan a continuación:

Tabla 28. Resultados de las muestras Bp 1,2,3, destilación

|              | MUESTRA 1    |              | MUESTRA 2    |              | MUESTRA 3    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Recuperado | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 171.0        | 171.4        | 173.7        | 174.1        | 172.8        | 173.2        |
| 10           | 194.7        | 195.1        | 197.5        | 197.9        | 195.8        | 196.2        |
| 50           | 246.4        | 246.8        | 246.4        | 246.9        | 247.1        | 247.6        |
| 90           | 317.3        | 317.8        | 316.4        | 316.9        | 317.3        | 317.8        |
| FBP          | 345.9        | 364.4        | 345.4        | 346.0        | 346.1        | 346.7        |

La (DOF, 2016) especifica que al 10 % su máximo debe estar alrededor de 275 °C y en 90 % en un máximo de 345 °C, los resultados obtenidos son favorables y ninguna de las muestras sobrepasa los límites establecidos.

Tabla 29. Resultados de las muestras Bp 4,5,6, destilación

|              | MUESTRA 4    |              | MUESTRA 5    |              | MUESTRA 6    |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Recuperado | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C | Observado °C | Corregido °C |
| IBP          | 172.4        | 172.8        | 168.9        | 169.3        | 175.0        | 175.5        |
| 10           | 195.5        | 196.0        | 195.4        | 195.9        | 194.9        | 195.4        |
| 50           | 245.4        | 245.9        | 247.0        | 247.5        | 245.3        | 245.9        |
| 90           | 314.6        | 315.2        | 317.6        | 318.2        | 316.0        | 316.6        |
| IBP          | 345.0        | 345.6        | 344.7        | 345.3        | 345.1        | 345.8        |

Cabe mencionar que la norma no especifica los puntos iniciales y finales de la destilación del combustible sin embargo a través de la literatura se puede encontrar que este inicia a partir de 170 °C y finaliza aproximadamente en los 360 °C, en comparación de los datos encontrados experimentales, el combustible diésel aparenta cumplir con las especificaciones de la normatividad y con las propiedades que tiene un diésel de buena calidad.

El cálculo de índice de cetano de las muestras nos arroja resultados satisfactorios encontrándose alineados con la normativa y dentro de los límites especificados, un diésel con un índice de cetano mayor a 45 nos refleja un diésel óptimo para su uso.

Tabla 30. Resultados experimentales índice de cetano calc. Bp

| Muestra | CETANO CALC. |
|---------|--------------|
| 1       | 53.5         |
| 2       | 53.7         |
| 3       | 53.8         |
| 4       | 53.3         |
| 5       | 53.7         |
| 6       | 53.3         |
| MEDIA   | 53.55±0.21   |

## 11.Discusiones

A través de los resultados encontrados, se ha podido dar respuesta a las principales preguntas de investigación ¿Se encuentra adulterado el combustible diésel en las estaciones de servicio en Paraíso, Tabasco?, ¿El combustible comercializado cumple con las especificaciones de la norma?, ¿Las propiedades fisicoquímicas cumplen con los estándares de calidad?, para ello se presenta el siguiente resumen de los resultados experimentales observados, las deducciones y discusiones correspondientes.

Tabla 31. Resultados promedio de los parámetros analizados del diésel de las estaciones de servicio Orsan, Pemex, Bp.

|       | Densidad (g/ml) | Flash point (°C) | Cont. azufre (mg/kg) | Índice cetano calc. |
|-------|-----------------|------------------|----------------------|---------------------|
| Orsan | 0.8467±5.16E-05 | 57.3±0.81        | <3                   | 47.6±2.43           |
| Pemex | 0.7994±3.33E-04 | 33.0±4.56        | 168.79±4.36          | 51.91±0.29          |
| Bp    | 0.8191±6.32E-05 | 61.3±0.51        | <3                   | 53.55±0.21          |

La comparación de los datos y el análisis de estos, confirman que Bp ofrece un mejor combustible diésel, los resultados obtenidos de esta estación tienen mayores similitudes a las referencias en la literatura, así como la variabilidad de los resultados de los análisis es muy pequeña, obteniendo datos consistentes, que cumplen con las especificaciones de la norma.

Los intervalos de destilación en la tabla 32, confirman que no se encuentran sustancias adulterantes en la muestra de Bp, donde se obtuvo un IBP en 172.3 °C y FBP en 345.4 °C, los resultados encontrados de contenido de azufre infieren que es un combustible diésel ultrabajo en azufre (ULSD) confirmando que es un combustible limpio de buena calidad sin sustancias que alteren su composición química y su rendimiento, relacionándolo a una buena eficiencia de combustión que a su vez, produce menos emisiones contaminantes.

El análisis de la estación de servicio Orsan, verificó que este combustible se encuentra en condiciones óptimas para su distribución, los resultados en comparación con los datos referenciados tienen similitudes y se aproximan a estos, por ejemplo en la literatura Rodríguez (2012), menciona que la densidad del diésel según la WWFC debe oscilar entre los 0.820-0.860 g/ml, teniendo un resultado favorable (0.8467 g/ml) y dentro del rango mencionado, teniendo en cuenta que se siguen las especificaciones de la norma NOM-016-CRE-2016, esta no atribuye un valor específico de densidad dentro de sus limitaciones.

Los resultados de la curva de destilación en la figura 29, son al 10 % - 204.8 °C y al 90 % - 337.9 °C, en comparación de las especificaciones de la norma, se tienen resultados satisfactorios, tanto para los intervalos de destilación como los demás parámetros, descartando la presencia de adulterantes, encontrándose favorable dentro de las especificaciones de la norma y verificando que el combustible diésel se encuentra en óptimas condiciones de calidad.

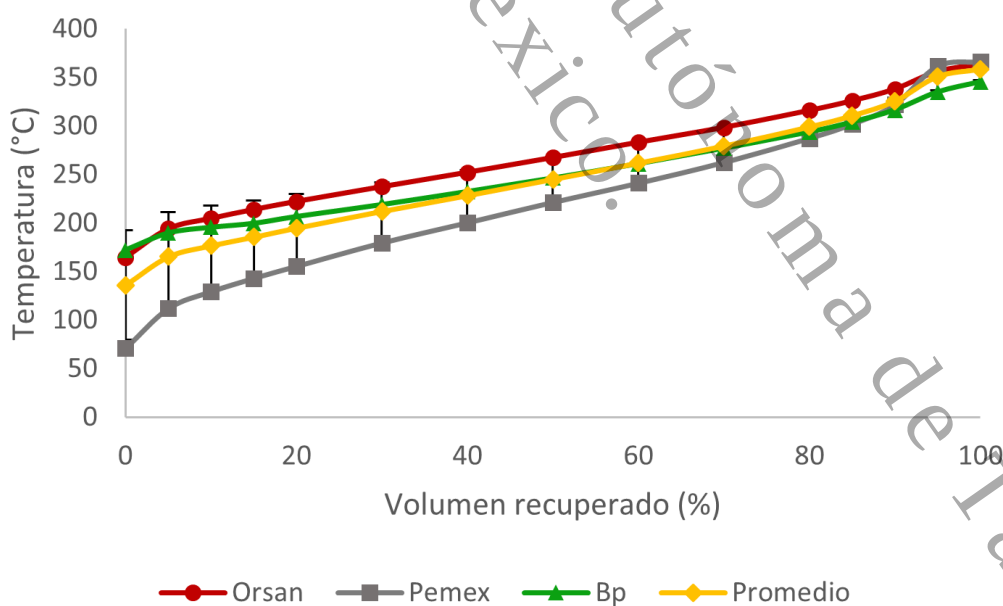


Figura 29. Curvas de destilación y desviación estándar de las estaciones de servicio Orsan, Pemex y Bp.

Tabla 32. Resultados promedio de los intervalos de destilación de las estaciones de servicio Orsan, Pemex y Bp

|       | IBP<br>(°C) | AI 10 %<br>(°C) | AI 50 %<br>(°C) | AI 90 %<br>(°C) | FBP<br>(°C) |
|-------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Orsan | 164.8±2.56  | 204.8±1.60      | 267.4±0.64      | 337.9±0.49      | 363.3±0.47  |
| Pemex | 71.0±2.96   | 129.4±2.33      | 221.4±1.06      | 321.8±1.20      | 366.3±0.028 |
| Bp    | 172.3±2.1   | 195.6±0.99      | 246.3±0.76      | 316.5±1.27      | 345.4±0.54  |

El análisis de datos de las estaciones de Orsan y Pemex en comparación de las especificaciones establecidas por la (DOF, 2016), en su mayoría tienen resultados favorables, ya que como se muestra en la tabla 4. Las especificaciones de la norma mexicana NOM- 016-CRE-2016, no es muy exigente, sin embargo, en la tabla 32, se observa una diferencia mayor de los datos en los resultados de la estación Pemex en comparación con los datos Orsan.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos de la estación de servicio de Pemex, en comparación con la literatura, se obtuvieron resultados deficientes, debido a que (Pemex, 2016) reporta que la densidad del diésel automotriz oscila en 0.820 a 0.850 g/ml, sin embargo, los resultados son poco favorables (0.7994 g/ml), teniendo una densidad por debajo de la reportada, atribuyendo que la deficiencia de este parámetro se relaciona con la presencia de alguna sustancia adulterante. De igual manera, se encontraron inconsistentes los resultados del punto de inflamación y contenido de azufre, infiriendo la presencia de algún aditivo.

El índice de cetano y los intervalos de destilación cumplen con las especificaciones de la norma, sin embargo la evaluación minuciosa de las curvas de destilación en la figura 29, expone el comportamiento atípico de la muestra de Pemex, presentando, teniendo como punto inicial 71.0 °C, exponiendo la ausencia del diésel, ya que se esperaba que el IBP sea a partir de 170 °C como lo menciona Bazán (2015) y otro autores, sin embargo hasta el 35% se nota la presencia del combustible diésel, siendo este un dato clave, que en comparación con la literatura, se deduce que la sustancia adulterante es una fracción ligera como el queroseno.

## 12. Conclusiones

A través de esta investigación y los hallazgos encontrados en las tres estaciones de servicio de combustible diésel en Paraíso, Tabasco, se encontró información relevante que permitió verificar la calidad del diésel, siendo favorables los resultados en comparación con las especificaciones de la NOM-016-CRE-2016 y a su vez, a través del análisis fisicoquímico y la búsqueda minuciosa de la literatura, descartar que las estaciones de servicio de Bp y Orsan comercializan combustible adulterado, sin embargo se encontraron inconsistencias en el combustible diésel de Pemex, atribuyendo estas deficiencias a una posible adulteración intencional o contaminación de los tanques de almacenamiento, concluyendo que no se encuentra en buenas condiciones para su distribución.

El comportamiento irregular de los parámetros como densidad, punto de inflamación y curva de destilación de la muestra de Pemex, en comparación de los datos referenciados a lo largo de la literatura, nos determinó la adulteración de este combustible, sin embargo de acuerdo con las especificaciones de la NOM-016-CRE-2016 cumple con los límites mencionados, poniendo en duda y haciendo énfasis que la norma debería de tener especificaciones rigurosas en cuanto a las fracciones del volumen recuperado en la destilación y siendo más específico en los otros parámetros.

En conclusión, se llevó a cabo el análisis minucioso de los parámetros fisicoquímicos del diésel, que nos verificaron la calidad del combustible, en donde Pemex ofrece un combustible diésel de menor calidad, cumpliendo con algunas de las especificaciones de la norma, por otra parte, el combustible diésel de las estaciones Bp y Orsan cumplieron con las especificaciones de calidad y normatividad establecida.

Atribuyendo la similitud de los datos entre estas estaciones, a que regularmente cargan el combustible con el mismo cliente, sin embargo, las pequeñas discrepancias entre una y otra, se infiere a las condiciones de transporte y/o almacenamiento del combustible, descartando una modificación intencionada, resaltando que los mejores resultados se le atribuyen a la estación de servicio Bp. Finalmente, el análisis y verificación de las propiedades fisicoquímicas del combustible garantiza su calidad, rendimiento y

seguridad en el uso, contribuyendo con la disminución del impacto ambiental, proporcionando un mejor control en la emisión de contaminantes, un mejor funcionamiento y vida útil del motor. Además, que el cumplimiento de los requisitos legales en cuanto calidad evita pérdidas fiscales que implican un impacto negativo en la economía del distribuidor.

### **13. Glosario de abreviaturas**

- ACPM: Aceite combustible para motor
- CRE: Comisión reguladora de energía
- FBP: Final Boiling Point (Punto final de ebullición)
- IBP: Initial Boiling Point (Punto inicial de ebullición)
- USLD: Ultra Low Sulfur Diesel (Diésel ultra bajo en azufre)
- WWFC: World Wide Fuel Charter (Carta mundial de combustible)

## 14. Bibliografía

- ¿Cuál es la densidad del gasoil? (2024). *Agrupación gasoil*. Obtenido de <https://www.agrupaciongasoil.es/blog/cual-es-la-densidad-del-gasoil/>
- Aguirre, R. (2003). *Establecimiento e implementación de un proceso de aseguramiento y control de calidad de los combustibles en las estaciones de servicio Shell de la República de Guatemala*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/924/De%20Aguirre%2c%20Rodrigo.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Aleme, H. G. (2011). *Determinación de parámetros físico-químicos de aceite diésel a partir de curvas de destilación usando técnicas quimiométricas*. Belo Horizonte: Universidad Federal de Minas Gerais. Obtenido de [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-8XST7U/1/tese\\_helga\\_pdf\\_\\_1\\_.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-8XST7U/1/tese_helga_pdf__1_.pdf)
- Almeida, F. P., Panta, P. R., & Ferrao, M. F. (2009). *Adulteración en los combustibles y su identificación mediante transformadas wavelets*. Salvador, Brazil: The industrial engineering and the sustainable development: Integrating technology and management.
- Arango H, J. H. (Mayo de 2009). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932009000100013%20&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932009000100013%20&script=sci_arttext)
- Arias, A. (2023). *ENERGY21*. Obtenido de <https://energy21.com.mx/index.php/politica-y-normatividad/2023/07/04/es-adulterado-el-35-del-combustible-que-se-vende-en-gasolineras>
- ASTM. (2016). *ASTM D4737-16. Método de prueba estándar para el índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables*. ASTM International.
- ASTM. (2018). *ASTM D2622-18. Métodos de prueba estándar para determinación de azufre en productos derivados del petróleo mediante espectrofluorimetría de rayos X por dispersión de longitud de onda*. ASTM International.
- ASTM. (2018). *ASTM D86-18. Método de prueba estándar para la destilación de productos derivados del petróleo y combustibles líquidos a presión atmosférica*. ASTM International.
- ASTM. (2018). *Método de prueba estándar para la determinación de la densidad, densidad relativa y la gravedad API de líquidos mediante densímetro digital*. ASTM International.
- ASTM. (2018). *Métodos de prueba estándar para determinación del punto de inflamación por medio de analizador Pensky-Martens de vaso cerrado*. ASTM International.
- ATSDR. (2004). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75-c3.pdf>
- Bazán, V. S. (2015). *Calidad del diésel de Costa Rica en los años 2006-2010*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Centro de Electroquímica y Energía Química. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/download/25390/25631/64995>

- Bello, A., & Torres, J., & Herrera, J., & Sarmiento, J. (2000). *El efecto de las propiedades del diesel en las emisiones de materia particulado*. Colombia: Scielo. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53832000000100003&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53832000000100003&lang=es)
- Bermúdez, T. V., & Martínez, M. S. (2003). *Efectos de la composición del gas-oil sobre las emisiones contaminantes*. Valencia, España y México: Universidad Politécnica de Valencia & FIME-UANL. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/10127/1/21efectosdelacomposicion.pdf>
- Blumberg, K. O., Walsh, M. P., & Pera, C. (2003). *ICCT*. Obtenido de [https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Bajo\\_Azufre\\_ICCT\\_2003.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf)
- Boluda, C. J. (2019). *La detección de la gasolina adulterada: una breve revisión de los principales métodos analíticos*. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612020000100053&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612020000100053&script=sci_arttext)
- Bp. (2020). *Ficha de datos de seguridad diésel*. Bp Oil España. Obtenido de [https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/es\\_es/spain/home/pdfs/fichas-seguridad/ssp2280.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/es_es/spain/home/pdfs/fichas-seguridad/ssp2280.pdf)
- Cárdenas, S. J. (2013). *Conversión catalítica utilizando zeolitas: Producción de diesel y otros hidrocarburos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Química.
- Castillo, H., Mendoza, D., & Caballero, M. P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. *Scielo*, 293-306. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432012000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000300004)
- Chacón, A. S. (2006). *Análisis de costos asociados al mejoramiento de la calidad del combustible en Colombia*. Bogotá: Universidad de los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e0283fd8-0980-450d-a489-2f50d31e25ed/content>
- Chica, S. F., Espinoza, M. F., & Rivera, C. N. (2010). *Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diesel con la finalidad reducir la contaminación del aire*. Ecuador: INGENIUS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8365/1/Gas%20licuado%20de%20petr%3b%3leo%20como%20combustible%20alternativo%20para%20motores%20diesel%20con%20la%20finalidad%20de%20reducir%20la%20contaminaci%3b%3n%20del%20aire.pdf>
- DOF. (2012). *Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo88960.html>
- DOF. (2016). *NOM-016-CRE-2016. Especificaciones de calidad de los petrolíferos*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016#gsc.tab=0)

- fuel, C. d. (s.f). *Global Composites*. Obtenido de <https://www.globalcomposites.es/glossary/combustible-diesel-diesel-fuel/>
- Gode, D. (2022). *Instrumentación analítica*. Obtenido de <https://www.instru.es/ficheros/Dens%C3%ADmetros-Medidores%20de%20densidad-Rev.1.pdf>
- González, N. (2023). *ONEXPO NACIONAL*. (Excelsior, Editor) Obtenido de [https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/ADULTERAN-HASTA-30-DE-CADA-LITRO-DE-COMBUSTIBLE\\_DhUtB/](https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/ADULTERAN-HASTA-30-DE-CADA-LITRO-DE-COMBUSTIBLE_DhUtB/)
- IPIECA. (2007). *Azufre en el combustible*. Asociación de la Industria Internacional del Petróleo para la Conservación del Medioambiente. Obtenido de <https://arpel.org/hubfs/%5BSitio%202024%5D%20-%20Publicaciones/Azufre%20en%20el%20Combustible%20-%20IPIECA.pdf>
- ISO 9000. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad*. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en:term:3.6.2>
- José Boluda, C. (2020). *La detecció de la gasolina adulterada: una revisió de los principales métodos analíticos*. Scielo. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612020000100053&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100053&lng=es&tlng=es)
- Lafont, J. J., Pàez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). *Análisis Químico de Mezclas de Biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja*. Colombia: Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642011000400005&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642011000400005&script=sci_arttext)
- Lyra, R. E. (2015). *Investigación sobre la adulteración del aceite diésel por aceites naturales, grasas saturadas y queroseno mediante el uso de pruebas físico-químicas*. Universidad Federal de Amazonas, Manaus. Obtenido de <https://www.riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/4811/2/Ezequiel%20Filipe%20Lyra%20Ramos.pdf>
- M.C. (2021). *MarcaCoches*. Obtenido de <https://www.marca.com/coches-y-motos/industria/2021/06/11/60c33116268e3e23698b4623.html>
- Matos, S. P. (2002). *Detecció de adulteraciones de combustibles de uso en el parque automotor Peruano*. Lima-Perù: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/152>
- Morales Bautista, C. (2023). *Determinación de la gravedad API por los métodos directo e indirecto (picnometría)*. Journal of Basic Sciences, 19-26. Obtenido de <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/6134/4502>
- Oiltanking*. (2015). Obtenido de <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/diesel.html>
- OMS. (2022). *Organización mundial de la salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Pemex. (2016). *HDS Diésel automotriz*. Obtenido de <https://distribuidorariopanuco.com/pdfs/diesel.pdf>

- RAI. (2014). *Diccionario Español de Ingeniería*. España: Real Academia de Ingeniería.
- Reyes, S. S. (2007). *Caracterización del punto de flash, presión de vapor, curva de destilación y calor específico para la gasolina y diésel en Colombia*. Bogotá: Universidad de los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0f3745ee-6b38-413f-b20f-e5f4845f017f/content>
- Rodriguez I, I. (06 de Mayo de 2022). *El economista*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/politica/Expertos-mala-calidad-de-gasolinasy-corrupcion-contaminan-a-la-ZMVM-20220505-0157.html>
- Rodríguez, N. N. (2012). *Análisis de la reducción del azufre en el combustible diesel en el Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8492d415-34bb-48bd-a3f1-450ca57d6b37/content>
- Rodríguez, N. N. (2012). *Análisis de la reducción del azufre en el combustible diesel en el Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8492d415-34bb-48bd-a3f1-450ca57d6b37/content>
- Ruiz, A., & Behrentz, E. (2009). *Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en Bogotá*. Bogotá, Colombia: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ad904322-1341-45fd-afd1-6560604bc9bd/content>
- Salas A, J. A. (1994). *Aditivos para combustible Diésel como parte del mantenimiento preventivo*. Perú: Ingeniería Industrial.
- SEDEMA. (2017). *Calidad de las gasolinas y diesel comercializados en la ZMVM*. Ciudad de México: Secretaria del medio ambiente. Obtenido de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5a6/908/51d/5a690851dbf88471348404.pdf>
- Serrano, M. C., & Paz, H. S. (2023). *Gestión en el control de la calidad del diesel en Alpha Services & Logistics S.A*. Honduras: Facultad de Postgrado UNITEC. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/server/api/core/bitstreams/3647c420-d070-49b6-9e56-aae4eca3a8b3/content>
- Shell. (2004). *Ficha de seguridad del diésel*. Obtenido de <https://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/4906.pdf>
- Taboada, E. .. (2009). *El diesel para autotransporte en México. Situación actual y prospectiva*. Distrito Federal, México: El cotidiano. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739008.pdf>



*"Donde hacer ciencia, es Básico"*