

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**EFICIENCIA DEL MÉTODO DE DESTILACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE  
DIÉSEL A PARTIR DE ACEITE AUTOMOTRIZ USADO EN BASE A LA  
NORMA ASTM D, EN LA CIUDAD DE CELENDÍN**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**FREDDY ALEXANDER CHÁVEZ SALAZAR**

ASESORES:

**Ing. M.Sc. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

**Ing.: JORGE SILVESTRE LEZAMA BUENO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2020**



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

### FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

-----000-----

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los catorce días del mes de diciembre del año dos mil veinte, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 133-2020-FCA-UNC, de fecha 06 de noviembre del 2020, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulada: **"Eficiencia del método de destilación en la obtención de diésel a partir de aceite automotriz usado en base a la norma ASTM D en la ciudad de Celendín"**, ejecutada por el Bachiller en Ciencias Ambientales, don **Freddy Alexander Chávez Salazar**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y catorce minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación por unanimidad con el calificativo de dieciséis (16)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

A las once horas y cuarenta y un minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Ing. M. Cs. José Ramiro Díaz Cumpén  
PRESIDENTE

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori  
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas  
VOCAL

Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez  
Horna ASESOR

Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno  
ASESOR

COPYRIGHT © 2020 by  
**FREDDY ALEXANDER CHÁVEZ SALAZAR**  
Todos los derechos reservados

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por llenarme de bendiciones, darme la oportunidad de vivir y tener una hermosa familia y a la vez ser alumno del alma mater como es la Universidad Nacional de Cajamarca.*

*Con amor a mis padres, Segundo Matías Chávez Chacón e Hilda Rebeca Salazar Chacón, ejemplo de lucha constante, trabajo y perseverancia para sacar adelante a su familia y formarnos con valores a cada uno de sus doce herederos.*

*A mi amada esposa, Lucy Marleni Ludeña Marín, por ser el pilar de mi hogar y el soporte sobre todo en los momentos más difíciles de mi etapa de estudiante.*

*A mis adorados hijos, Rebeca, Edú y Lucero, quienes son el motor que me da impulso para cumplir con los sueños y metas planteadas.*

*A mis queridos hermanos, José, Juan, Mery, Matías, Rocío, Caren, Carlos, Anabel y Ronald, en especial César, que desde el lugar donde se encuentra al lado de mis padres, piden por la unión y salud de la familia.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios, por proteger a mi familia y guiarme en las acciones de mi vida, darme la sabiduría y sapiencia necesaria para que cada día sea mejor persona.*

*A mi familia por su apoyo incondicional, en especial a Carlos Eduardo y Ronald Elvis Chávez Salazar, por su apoyo en la construcción del prototipo para la ejecución del presente trabajo de investigación.*

*A mis asesores Ing. Giovana Ernestina Chávez Horna e Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno, por su profesionalismo e inteligencia, por compartir sus enseñanzas durante mis estudios universitarios además de ser guías en todo el periodo de ejecución del trabajo de tesis.*

*A la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser mi alma mater y a todos los decentes, en especial al Ing. José Ramiro Díaz Cumpén, por sus enseñanzas y sus experiencias compartidas.*

*A mis amigos, alumnos de los diferentes colegios donde laboré, compañeros de la universidad y a quienes se sumaron a mi vida con frases de ánimo, con su apoyo y sobre todo su amistad.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍTEM	PÁG.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos de la investigación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 Objetivo general .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes de investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Bases teóricas .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Aceites lubricantes .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Clasificación del aceite lubricante automotriz .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3 Obtención del aceite lubricante .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.4 Aceites lubricantes automotrices usados .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.5 Diésel .....</b>	<b>15</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Materiales.....</b>	<b>21</b>
3.1.1 Material experimental.....	21
3.1.2 Materiales y equipos de laboratorio .....	21

3.1.3. Otros materiales.....	21
<b>3.2 Metodología.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.1 Ubicación geográfica.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2 Tipo de investigación .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.3 Diseño de la investigación.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Metodología aplicada .....</b>	<b>25</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Eficiencia del método de destilación .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Contenido de agua Karl Fisher .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 Destilación atmosférica .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4 Gravedad API @ 15,6 °C.....</b>	<b>38</b>
<b>4.5 Índice de cetano calculado.....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 Punto de inflamación .....</b>	<b>42</b>
<b>4.7 Viscosidad cinemática a 40 °C.....</b>	<b>43</b>
<b>4.8 Densidad a 15 °C.....</b>	<b>44</b>
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>47</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>PÁG.</b>
<b>Tabla 1.</b>	Composición aceite lubricante usado.....	14
<b>Tabla 2.</b>	Propiedades físicas y químicas del diésel .....	20
<b>Tabla 3.</b>	Propiedades de diésel evaluadas por el laboratorio .....	29
<b>Tabla 4.</b>	Volumen promedio final obtenido .....	31
<b>Tabla 5.</b>	Promedio de contenido de Agua Karl Fisher .....	32
<b>Tabla 6.</b>	Promedio de destilación atmosférica .....	34
<b>Tabla 7.</b>	Comparación de calidades típicas de destilación atmosférica de combustible diésel en el Perú con los resultados promedio obtenidos en la investigación. ....	36
<b>Tabla 8.</b>	Promedio de gravedad API @15,6 °C.....	38
<b>Tabla 9.</b>	Comparación de calidades típicas de gravedad API @ 15,6 °C de combustible diésel en el Perú con el resultado promedio de la investigación. ....	39
<b>Tabla 10.</b>	Promedio de índice de cetano calculado .....	40
<b>Tabla 11.</b>	Promedio de índice de punto de inflamación.....	42
<b>Tabla 12.</b>	Promedio de viscosidad cinemática a 40 °C .....	43
<b>Tabla 13.</b>	Promedio de densidad a 15 °C .....	44



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁG.</b>
<b>Figura 1.</b>	Destilación y refinación del petróleo crudo asfáltico .....	12
<b>Figura 2.</b>	Plano de ubicación del proyecto.....	22
<b>Figura 3.</b>	Plano de prototipo de destilador artesanal .....	27
<b>Figura 4.</b>	Contenido de agua Karl Fisher .....	32
<b>Figura 5.</b>	Promedio de temperatura de destilación atmosférica al 90% .....	35
<b>Figura 6.</b>	Promedio de Gravedad API @ 15,6 °C .....	38
<b>Figura 7.</b>	Comparación de resultados de laboratorio de índice de cetano calculado con la norma ASTM D4737 .....	41
<b>Figura 8.</b>	Comparación de resultados de laboratorio de punto de inflamación con la norma ASTM D93 .....	42
<b>Figura 9.</b>	Comparación de resultados de laboratorio de viscosidad cinemática a 40 °C con la norma ASTM D445 .....	43
<b>Figura 10.</b>	Comparación de resultados de laboratorio de densidad a 15 °C con la norma ASTM D4052 .....	44
<b>Figura 11.</b>	Cotización para análisis de diésel .....	56
<b>Figura 12.</b>	Resultados de laboratorio muestra 1 .....	58
<b>Figura 13.</b>	Resultados de laboratorio muestra 1 .....	59
<b>Figura 14.</b>	Resultados de laboratorio muestra 2.....	60
<b>Figura 15.</b>	Resultados de laboratorio muestra 2.....	61
<b>Figura 16.</b>	Calidades típicas de combustible diésel en el Perú .....	63
<b>Figura 17.</b>	Prototipo de destilador artesanal.....	75
<b>Figura 18.</b>	Medida de la muestra para el primer destilado.....	75

<b>Figura 19.</b>	Resultado del primer destilado .....	75
<b>Figura 20.</b>	Masa del primer destilado.....	76
<b>Figura 21.</b>	Masa de Hidróxido de Sodio para el primer redestilado .....	76
<b>Figura 22.</b>	Resultado primer redestilado .....	76
<b>Figura 23.</b>	Recolección y destilación de la segunda muestra.....	77
<b>Figura 24.</b>	Resultado segundo destilado .....	77
<b>Figura 25.</b>	Masa del segundo destilado .....	77
<b>Figura 26.</b>	Masa del Hidróxido de Sodio para el segundo destilado.....	78
<b>Figura 27.</b>	Volumen del segundo redestilado.....	78
<b>Figura 28.</b>	Cambios de aceite automotriz en la vía pública .....	78

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue ejecutado en el distrito y provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, a una altitud de 2628 m.s.n.m aproximadamente, con el objetivo de determinar la eficiencia del método de destilación térmica en la obtención de diésel, a partir de aceite automotriz usado, en función a la norma ASTM D, la hipótesis planteada fue que la utilización del método de destilación térmica en la obtención de diésel a partir de aceite automotriz usado es eficiente, los parámetros analizados fueron: contenido de agua Karl Fisher, destilación atmosférica, gravedad API @ 15,6 °C, índice de cetano calculado, punto de inflamación, viscosidad cinemática a 40 °C y densidad a 15 °C, la frecuencia de monitoreo fue de quince días, recolectándose dos muestras de aceite automotriz usado en la ciudad de Celendín. Los análisis de caracterización diésel se realizaron en SGS, laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL - DA con registro N° LE – 002, teniendo en cuenta la norma técnica internacional ASTM D.

Luego de dos procesos de destilación de aceite automotriz usado de 3000 ml en cada uno, se obtuvo como producto final en promedio 2237,50 ml; evidenciándose que la eficiencia del método de destilación térmica fue de 74,58%.

Del análisis de cada uno de los parámetros evaluados, se pudo determinar en promedio los resultados siguientes: contenido de agua Karl Fisher 133 ppm, la temperatura de destilación atmosférica a 90% recuperado fue 354,3 °C, gravedad API @15,6 °C se reportó 41,85 kg/m<sup>3</sup>, índice de cetano calculado 58,55, temperatura de punto de inflamación menor a 40 °C, valor muy por debajo de 52 °C como mínimo según exige ASTM D93, viscosidad cinemática a 40 °C tuvo un valor de 2,3885 cSt y 0,8155 g/ml fue el valor de la densidad a 15 °C.

Finalmente, de acuerdo a la evaluación de los parámetros evaluados, se puede calificar al producto final obtenido como diésel.

**Palabras clave:** Destilación térmica, contenido de agua Karl Fisher, gravedad API @ 15,6 °C, índice de cetano calculado, punto de inflamación, viscosidad cinemática a 40 °C, densidad a 15 °C.

## ABSTRACT

This research work was carried out in the district and province of Celendín, department of Cajamarca, at an altitude of approximately 2,628 meters above sea level, with the aim of determining the efficiency of the thermal distillation method in obtaining diesel, from automotive oil. used, according to the ASTM D standard, the hypothesis was that the use of the thermal distillation method in obtaining diesel from used automotive oil is efficient, the parameters analyzed were: Karl Fisher water content, atmospheric distillation, API gravity @ 15.6 °C, calculated cetane index, flash point, kinematic viscosity at 40 °C and density at 15 °C, the monitoring frequency was fifteen days, collecting two samples of used automotive oil. Diesel characterization analyzes were carried out at SGS, a testing laboratory accredited by the Peruvian accreditation body INACAL - DA with registration N° LE - 002, taking into account the international technical standard ASTM D.

After two distillation processes of used automotive oil of 3000 ml each, an average of 2237.50 ml was obtained as the final product; evidencing that the efficiency of the thermal distillation method was 74.58%.

From the analysis of each of the evaluated parameters, the following results could be determined on average: Karl Fisher water content 133 ppm, the atmospheric distillation temperature at 90% recovered was 354.3 °C, API gravity @ 15.6 °C was reported 41.85 kg / m<sup>3</sup>, calculated cetane number 58.55, flash point temperature less than 40 °C, value well below 52 °C minimum as required by ASTM D93, kinematic viscosity at 40 °C had a value of 2 .3885 cSt and 0.8155 g / ml was the density value at 15 °C.

Finally, according to the evaluation of the evaluated parameters, the final product obtained can be qualified as diesel.

Keywords: Thermal distillation, Karl Fisher water content, API gravity @ 15.6 °C, calculated cetane number, flash point, kinematic viscosity at 40 °C, density at 15 °C.

## **CAPITULO I**

### **I. INTRODUCCIÓN**

Uno de los principales retos en la actualidad es encontrar nuevas fuentes de energía. El aprovechamiento continuo y especializado de los recursos energéticos ha contribuido al desarrollo de sociedades altamente tecnológicas en todo el mundo. No obstante, surge la interrogante de cómo abastecer a la humanidad con los beneficios derivados de la energía sin devastar de manera irremediable al medio ambiente (Tester et al. 2005: 1-48).

Es aquí donde aparece la obligación de estimular el incremento de nuevas fuentes de energía alternativas. Gran parte de la investigación mundial se orienta en el incremento y optimización de nuevas fuentes energéticas. Las energías renovables, al ser potencialmente duraderas y capaces de reconstituirse de forma natural, son uno de los principales ejemplos de óptimas alternativas que buscan solucionar este dilema. No obstante, las energías renovables no son la única fuente energética utilizable, nuevas expectativas deben ser inspeccionadas a profundidad. En la actualidad muchos procesos industriales ocasionan enormes cantidades de residuos, que desde el punto de vista energético generan gran beneficio y potenciales usos. Estos desperdicios podrían ser empleados para la generación de energía, economizando así no solo recursos primarios, sino también minimizando la problemática de la disposición y manejo de estos residuos (Altamirano y Pabón 2016).

Actualmente en Celendín no se cuenta con un centro de acopio y disposición final de aceites lubricantes usados, menos con una planta de tratamiento para aprovechar su alto potencial energético. Reconvertir mil ml de aceite usado como combustible genera alrededor de 8000 kJ de energía, capacidad idónea para operar un horno eléctrico de 1000 W por 2 horas o alumbrar 100 W por un día. Además, en tanto se necesiten 67 litros de crudo para producir 1 litro de aceite para vehículos motorizados, sólo 1,6 litros de aceite usado son necesarios para generar la misma cantidad de aceite para carros (El-Fadel y Khoury 2001: 75-91).

El parque automotor en Celendín en los últimos 20 años se ha incrementado considerablemente, trayendo como consecuencia que la producción de aceite automotriz usado aumente en forma proporcional al mismo, generándose alrededor de 1164 galones/mes de aceite automotriz usado (Intor 2015), que a su vez al no haber un centro de recolección y no tener una buena disposición final es comercializado en el mejor de los casos como lubricante para cadena de motosierras y en su gran mayoría son eliminados de manera clandestina, causando potenciales impactos negativos al medio ambiente.

El presente trabajo de investigación desarrolló como alternativa la conversión de los aceites lubricantes usados a través de la destilación térmica a diésel, para minimizar el impacto negativo al ambiente de los actuales métodos de disposición y comercialización de los aceites lubricantes usados y reducir la explotación de los combustibles fósiles (MINEM 2014).

## **1.1 Objetivos de la investigación**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Determinar la eficiencia del método de destilación térmica en la obtención de diésel, a partir de aceite automotriz usado, en función a la norma ASTM D.



### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Obtener diésel, a partir de aceite automotriz usado en la ciudad de Celendín.
- Determinar las características del combustible elaborado en base a la norma ASTM D.

## CAPÍTULO II

### II. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

Sobre el proceso de obtención de diésel a partir de aceite automotriz usado a escala piloto a través de craqueo térmico, destilación térmica, y otros; existe muy poca información, sin embargo, podemos mencionar que sobre la obtención de biodiesel, existen múltiples informes, documentos, revistas e investigaciones.

Almeida et al. (2010), en un estudio titulado: “conversión de aceite lubricante usado de automóviles a diésel #2”, realizado en el Laboratorio de Desarrollo de Energías Alternativas de la Universidad San Francisco de Quito – Campus Cumbayá, Quito, Pichincha, Ecuador, señalan que luego de ejecutar la caracterización del aceite quemado se deduce que todas las muestras tienen un contenido medio de azufre de 0,38% en peso; una cantidad de agua de 0,37% en peso. El índice de viscosidad fue de 122 y el Número Total de Base (TBN) promedio fue de 18,6 mg de KOH/g, ambos dentro de las escalas sugeridas por su respectiva normatividad ASTM. El punto de inflamación es de 90,8 °C y la temperatura del 90% de la destilación es de 400 °C. Además, los grados API promedio son de 28,22. Así mismo, el rendimiento del proceso a partir de las muestras de aceite utilizado fue del 87%, se puede concluir que para producir un litro de Diesel #2, se necesita 1,15 litros de aceite quemado.

Según Medina y Ospino (2011), en un estudio titulado: “evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales”, realizado en la Universidad de Cartagena, Colombia, mencionan el biodiesel conseguido tiene una adecuada calidad pero no cumple con algunas características tales como la gravedad API necesariamente a que los reactivos deben ser anhídridos, o en su defecto tener una alta pureza y como es muy engorroso conseguirlos de esta forma, se realizó una adaptación la cual no fue totalmente eficaz. El punto de chispa es otra de las características que no pasa el test porque el volumen de metanol en el producto último debe ser mínimo y para esto se debe realizar una destilación la cual necesita de requisitos de laboratorio con las que no se disponía. La viscosidad cinemática que se entrelaza con los triglicéridos sin responder porque se debe tener un equipamiento de filtrado muy competente para no permitir partículas suspendidas que el aceite atrapa durante su vida útil. El contenido de agua que fue desmedido debido a que el secado no fue del todo eficaz debido a la naturaleza con la que se laboró, y esta es una etapa muy significativa del pre-tratamiento en insumos de segunda generación además de que se recomienda trabajar la reacción en envases herméticos para evitar la humedad del ambiente.

Arancibia y Calero (2011), en un estudio titulado: “obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas oleaginosas de la provincia de Chimborazo”, realizado en la Escuela Superior Técnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, concluyeron que con excepción del punto de inflamación en el B100 de higuierilla, al especificar las propiedades fisicoquímicas de los biodiesel elaborados, B100 de Higuierilla (*Ricinus comunis*) y B100 de Colza (*Brassica napus*), se evidenció que los valores obtenidos en la investigación se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ASTM D.

García et al. (2012), realizaron un estudio titulado “estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top, Estelí, Nicaragua”, realizado en la universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, concluyen que la viscosidad cinemática del biodiesel es menor que el valor que indica la norma ISO 3104, el fire point es de 120 °C, valor dentro del parámetro de la norma ISO/CD 3679, la densidad del biodiesel obtenido es 0,8628 g/ml<sup>3</sup>, valor que entra en el intervalo de la norma ISO 12185.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Aceites lubricantes**

Un lubricante es cualquier material líquido, sólido o semisólido que pueda emplearse para disminuir el rozamiento entre piezas de un motor y aparatos en movimiento.

Las características primarias de lubricación en los aceites lubricantes las provee una base, la cual puede ser mineral, sintética o vegetal (Barrera y Velecela 2015).

Entre las funciones de los aceites lubricante tenemos (Viteri y Jaramillo 2011):

- ✓ No permite la acumulación de desechos gomosos.
- ✓ No permite la formación de lodos.
- ✓ Mantiene limpias las piezas del motor.
- ✓ Permite la disminución de calor.

#### **2.2.1.1 Propiedades físicas que se miden sobre un aceite lubricante automotriz**

Básicamente, un lubricante depende de un aceite base y ciertos tipos de aditivos empleados. Esas propiedades pueden ser:

- a) **Gravedad y densidad relativa.** Se puntualiza como la relación entre la masa específica del aceite y la masa específica del agua, a una temperatura de 15,6 °C. La gravedad relativa, es una característica que por lo general se lo utiliza para reconocer

un cierto tipo de lubricante y se calcula en base a la densidad del agua 0,99904 g/cm<sup>3</sup> (Barrera y Velecela 2015).

b) **Número de bases totales (TBN O BN).** Tiene por función dimensionar la cantidad de reserva antiácida del lubricante disponible para compensar los ácidos que se generan por la combustión. Es decir, es la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) en mg necesario para neutralizar los componentes alcalinos de una muestra de 1 g de aceite (Barrera y Velecela 2015).

c) **Número de ácido total (TAN).** Es la totalidad de ácido referido en términos del número equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH), necesario para neutralizar todos los constituyentes ácidos presentes en 1 g de aceite incluyendo débiles y fuertes. La acidez total se produce debido a la existencia de aditivos o compuestos que se forman durante ciertos procesos de oxidación y degradación (Tormos 2005: 133-178).

d) **Expansión térmica.** Es el aumento en su capacidad volumétrica de un material a medida que se incrementa su temperatura; casi siempre, se manifiesta como un variación fraccionaria en las medidas por unidad de transición de temperatura (Barrera y Velecela 2015).

e) **Punto de inflamación.** El punto de inflamación de un aceite lo establece la temperatura mínima a la cual desencadena gases inflamables que se prenden ante la presencia de una llama o de un punto incandescente. Para impedir que el aceite se incendie al estar en contacto con zonas del motor a altas temperaturas, este punto debe ser lo más alto posible. La determinación de esta propiedad nos advierte la presencia de mezclas que contienen fracciones livianas. El punto de inflamación obedece a la composición química del petróleo crudo del cual se elaboró el aceite.

Con el tiempo de uso de un aceite automotriz, el punto de inflamación se eleva debido a la evaporación de las sustancias volátiles del mismo (Jones 2007).

f) **Viscosidad.** Es la característica de una sustancia que ofrece fortaleza al desplazamiento relativo de sus partículas. Expresa la capacidad que tiene un aceite lubricante para liberar zonas que se encuentran en fricción de forma dinámica o cinemática. Para evitar el rozamiento entre las piezas, un aceite debe poseer una alta viscosidad, formando una película de lubricante que tenga capacidad de soportar grandes cargas sin ser desplazado (Mott 1996: 23-28).

g) **Índice de viscosidad.** El índice de viscosidad, es un número empírico, sin unidades, que indica el cambio de la viscosidad respecto a la temperatura. La viscosidad y la temperatura del lubricante son dos magnitudes inversamente proporcionales (Barrera y Velecela 2015).

h) **Volatilidad.** Esta propiedad indica la tendencia de un aceite a evaporarse, por tal razón debe existir cierta prevención al utilizar lubricantes de altas temperaturas. Esta propiedad se indica mediante el flash point (punto de inflamación) y fire point (punto de ignición). Una volatilidad excesivamente alta conlleva a una alta evaporación y con ello una alteración de las cualidades físicas a lo largo de la vida útil del aceite, lo que no es recomendable (Barrera y Velecela 2015).

i) **Biodegradabilidad y toxicidad.** Estas dos propiedades del lubricante poseen características semejantes. La biodegradabilidad es una propiedad que se relaciona con las fuentes de agua y el medio ambiente en general, por lo tanto, influye demasiado en el tema ambiental. La toxicidad por otro lado, podría desencadenar un problema ambiental por las consecuencias dañinas que pueda tener sobre el medio (ser humano, animales, agua, flora) y por tal motivo debe permanecer en constante seguimiento y atención (Barrera y Velecela 2015).

j) **Corrosividad.** Es la predilección del lubricante a acelerar la oxidación catalíticamente, reaccionando cómodamente con metales ferrosos y no ferrosos. La corrosividad se disminuye agregando aditivos y se examina con la detección pertinente de productos de oxidación y corrosión (Barrera y Velecela 2015).

### **2.2.2 Clasificación del aceite lubricante automotriz**

Para clasificar a los aceites lubricantes existen diversos sistemas, pero la mayoría de empresas fabricantes se rigen bajo dos sistemas principalmente (Torres 2014).

La clasificación de los aceites lubricantes conforme a su viscosidad fue desarrollada por la SAE (Society of Automotive Engineers) y se reconoce en todo el mundo como la norma SAE J300, la que clasifica a los aceites de acuerdo a su viscosidad a 100 °C y a diversas temperaturas bajas (Viteri y Jaramillo 2011). Las características de uso y deterioro de un aceite están relacionadas con la viscosidad a elevada temperatura. El comportamiento en condiciones de arranque en frío, así como la lubricación a baja temperatura están pronosticadas por la viscosidad a baja temperatura. Los aceites lubricantes con alta viscosidad son por lo general menos sensibles a los cambios de temperatura y por eso están en mejores condiciones para trabajar de manera eficaz a altas y también bajas temperaturas (Torres 2014).

La SAE separa a los aceites lubricantes en dos grandes grupos (Jones 2007):

- Según la norma SAE J300d, aceites lubricantes para cárter.
- según la norma SAE J306c, aceites para transmisión.

Los aceites lubricantes para cárter son de interés en la presente investigación, los que se definen como el aceite lubricante automotriz utilizado que engloba aditivos químicos adicionales que se almacenan cuando se utiliza como lubricante de motores.

La norma SAE J300d clasifica los aceites lubricantes de la siguiente manera:

a) **Aceites monogrados.** Es aquel aceite lubricante que cumple un solo grado SAE, puede ser un grado de VERANO, o bien de INVIERNO, en el cual el número de SAE va acompañado de la letra "W" por Winter, invierno en idioma inglés (Vásquez 2013). A estos lubricantes se les concede un número pre establecido que indica la viscosidad, medidos a 100 °C y expresados según la SAE en cSt (centi-Stokes) (Barrera y Velecela 2015).

Dicho de otra manera, cuanto mejor es el sostenimiento de la viscosidad del lubricante a elevadas temperaturas, más alto es el número, por tal razón se aconseja que un motor se beneficie en forma constante con un aceite altamente viscoso (Barrera y Velecela 2015). A mayor fluidez del aceite a baja temperatura o en el momento del arranque, menor es el número. Los aceites monogrados son utilizados cuando la temperatura de funcionamiento no cambia mucho (o en aplicaciones específicas) (Viteri y Jaramillo 2011).

En los aceites monogrados se tiene (Barrera y Velecela 2015):

- SAE 20: Se utiliza en motores que operan en climas templados o sectores con temperaturas menores a 0 °C.
- SAE 30: Se utiliza en motores que operan en climas cálidos.
- SAE 40: Se emplea en pequeños motores cuya labor es pesada, en especial cuando son sometidos a trabajo en épocas de exorbitante calor como el verano.
- SAE 50: Se emplea en motores a gasolina a temperaturas de trabajo elevadas o en motores diésel de aspiración natural, este tipo de SAE por lo general se utiliza en unidades vehiculares que tengan cerca de 140000 km de recorrido.

b) **Aceites multigrados.** Son aceites lubricantes creados inicialmente para laborar en aplicaciones donde las variaciones de temperatura son notables. Por ejemplo, en algunas zonas del hemisferio norte las temperaturas son de hasta -40 °C en época de



frio y de 40 °C en época de calor. Estos lubricantes son identificados con dos números y colocando la letra W entre ellos. Por tal razón el aceite multigrado en el frio permite un arranque sencillo y óptimo gracias a su fluidez y a que es menos perceptible a la temperatura de esa estación. Una de las propiedades más resaltantes de este tipo de aceites es que responden de una manera apropiada tanto para invierno como verano. Un ejemplo de esto es el aceite SAE 15 W 40 (Barrera y Velecela 2015), en donde:

15W = Graduación de invierno.

40 = Graduación de verano

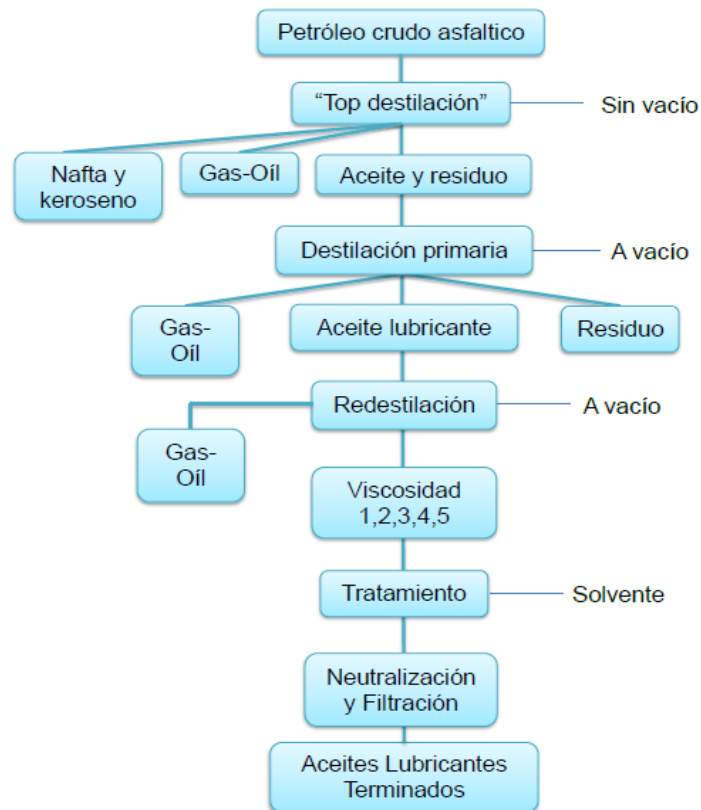
Los aceites multigrados otorgan beneficios como (Barrera y Velecela 2015):

- Economizan el consumo de combustible y aceite.
- Posibilitan el arranque en frio del motor protegiéndolo del deterioro.
- Conservan la viscosidad permanente a diferentes temperaturas de operación.
- Mejoran la oxidación por degradación.

### **2.2.3 Obtención del aceite lubricante**

En los vehículos motorizados casi siempre se utilizan aceites lubricantes que se obtienen partiendo del petróleo crudo. El procesamiento para obtener aceites lubricantes automotrices desde la succión del petróleo, pasa por diez fases distintas antes de obtenerlo, tal como se muestra en la figura 1. Los aceites lubricantes son elaborados en la planta en base a ciertos crudos que dan luego cortes ideales para elaborar aceites; cuando el crudo ingresa a la refinería pasa por un tamizaje de residuos grandes hacia la torre de destilación atmosférica, de la cual se obtiene un crudo reducido o residuo atmosférico. Cuando se realiza la destilación, ésta se produce en la zona de volatilización de los lubricantes como resultado de las altas temperaturas que en ella prevalecen. El crudo reducido de estos petróleos es enviado

a una torre o unidad de vacío, por tal razón los hidrocarburos de los aceites lubricantes se obtienen por destilación al vacío, donde son llamados aceites livianos, medios, pesados y extra pesados (Viteri y Jaramillo 2011).



**Figura 1.** Destilación y refinación del petróleo crudo asfáltico

**Fuente:** Jones (2007)

Al resultado de destilado obtenido se le agrega disolventes, ácidos y suelos decolorantes (tierra de Fuller), con la finalidad de someterlo a un proceso de purificación de componentes contaminantes; Luego del refinado los aceites de base ya limpios se potencian todavía, mediante añadidura de productos específicos (aditivos), en características particulares tales como protección contra avejentamiento, defensa anticorrosiva, eliminación de la formación y acumulación de espuma, etc. (Viteri y Jaramillo 2011).

#### **2.2.4 Aceites lubricantes automotrices usados**

Los aceites lubricantes son sustancias consumidas por el sector industrial, sociedades de servicios y empresas de transporte. Los lugares de producción son, sobresaliendo en jerarquía de importancia por el volumen de generación, las estaciones de servicio y talleres de mantenimiento de vehículos. En el caso de los automóviles se calcula una vida útil del aceite lubricante automotriz equivalente a 5000 Km, mientras que en los usos industriales depende del uso específico. (Rosales 2008).

Del total de los aceites lubricantes automotrices usados, el parque automotriz produce cerca del 65%, mientras que el restante tiene su origen en la industria (Rosales 2008).

El aceite lubricante automotriz usado es entonces “aquel aceite lubricante, de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética de desecho, que como resultado de su uso haya perdido las características iniciales para las que fue creado” (Molina y Rankin 2013).

Por otro lado, el aceite lubricante automotriz usado tratado, “es todo aquel que ha sido expuesto a un proceso de limpieza de componentes tales como sedimentos, compuestos de cloro, metales pesados, solventes y otros elementos provenientes de aditivos y de usos originales como los aceites lubricantes en vehículos o sistemas industriales, mediante tratamientos físicos, químicos o biológicos” (Molina y Rankin 2013).

##### **2.2.4.1 Composición de aceites lubricantes automotrices usados**

La estructura química de los aceites lubricantes, como todos los derivados del petróleo, cambia en función a la fuente del aceite crudo, el aceite de refinación y los actuales aditivos. Una de las desavenencias más preponderantes entre el aceite

lubricante automotriz y el aceite lubricante automotriz usado, es la cantidad de metales pesados adquiridos, ya que pueden presentar altas conglomeraciones de plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc, como producto del trabajo de un motor. Otro origen de metales pesados es el rozamiento con combustibles, como es el caso de la existencia de plomo procedente de la degeneración del tetraetilo de plomo de las naftas (Duran 2013). Con frecuencia se encuentran solventes clorados tales como tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno, como consecuencia del proceso de refinación del petróleo y de la resistencia del aceite con compuestos halogenados de los aditivos. Otros contaminantes posiblemente presentes son el azufre y el hollín generados en la combustión (Medina y Sánchez 2012).

Los aceites lubricantes automotrices usados se envejecen perdiendo los atributos que le hacían eficaces y por lo que surge la necesidad de ser sustituidos, produciéndose un sobrante que puede ser inestable en cantidad y composición dependiendo de su origen (Vásquez 2013).

**Tabla 1.** Composición aceite lubricante usado

Contaminantes	Concentración (ppm)	
	Aceites Lubricantes	
	Motor Diésel	Motor Gasolina
Cadmio	1.1	1.7
Cromo	2.0	9.7
Plomo	29.0	2.2
Zinc	332.0	951.0
Cloro total	3600.0	3600.0
PCB's	20.7	20.7

**Fuente:** Torres (2014)

## 2.2.5 Diésel

Compuesto complejo de hidrocarburos obtenido por la destilación del petróleo crudo. Está conformado por un número de carbonos en su mayor parte dentro del intervalo de C<sub>9</sub> a C<sub>10</sub> y con un parámetro de ebullición aproximado de 149 a 385 °C (MINEM 1994).

### 2.2.5.1 Propiedades físicas y químicas

**Punto de inflamación (Flash Point).** El Flash Point evalúa la temperatura a la cual los gases en la superficie del combustible arden cuando se expone a una llama. El punto de inflamación por lo general se describe para cuestionamientos legales y de seguridad en lo que se refiere a la manipulación y el almacenamiento de combustible. Si el punto de inflamación no se encuentra dentro de las especificaciones mínimas, entonces es un indicador de que el combustible podría estar contaminado con algún producto más volátil. La especificación mínima para el diésel según ASTM D93 es de 52 °C (125 °F) (Suárez 2019).

**Agua y sedimentos.** El análisis de agua y sedimentos se establece después de exponer el combustible a centrifugación y valora la cantidad de agua libre y los sedimentos existentes en el combustible. Conservar el nivel de agua bajo control nos previene de varios problemas vinculados con el agua. La contaminación del agua puede carcomer los constituyentes del sistema de combustible y producir un considerable desgaste. Abundante agua deteriora la eficiencia de los combustibles para lubricar correctamente. El límite máximo para el agua y los sedimentos es de 0,05% para todos los grados (Suárez 2019).

**Destilación.** La destilación es una medida del parámetro de ebullición y fraccionamiento del combustible diésel. Se establece mediante la destilación de una muestra en las condiciones prescritas, mientras se realizan las observaciones de las

lecturas de temperatura y volúmenes de condensado. El perfil de destilación, que es una característica elemental del combustible, otorga una magnitud de la evaporización del combustible concediendo así una inscripción de calidad. Por lo general la construcción del motor establece la exigencia de volatilidad de combustible, y la volatilidad del combustible aceptable es fundamental para tener un buen rendimiento del motor. Según ASTM D86, la temperatura mínima y máxima especificada para la temperatura de recuperación del 90% es 282 °C (540 °F) y 360 °C (680 °F), respectivamente (Suárez 2019).

**Viscosidad cinemática a 40 °C.** Viscosidad Cinemática se determina evaluando el periodo en que un volumen del combustible circula por gravedad, a través de un tubo de viscosímetro capilar calibrado y se indica generalmente en centitokes (cSt). La viscosidad tiene una importancia significativa en los sistemas de combustible. La viscosidad actúa sobre la capacidad del combustible para lubricar los componentes del sistema de combustible, así como la atomización. La atomización del combustible inadecuada puede tener como consecuencia una mala combustión, lo que puede ocasionar una diversidad de problemas, incluyendo la pérdida de fuerza y economía de combustible. Viscosidad baja de combustible puede resultar en fuga de combustible desde la bomba e inyector. Viscosidad inadecuada puede conducir a un mayor desgaste del sistema de combustible. ASTM D445 especifica el mínimo y el máximo de viscosidad cinemática para diésel 1,9 y 4,1 cSt, respectivamente (Suárez 2019).

**Porcentaje de cenizas.** La determinación de cenizas proporciona una medición de los componentes que forman cenizas y están presentes en el combustible. La ceniza se establece midiendo la masa de la ceniza que queda después de la quema de una cantidad con masa predeterminada del combustible. Componentes que producen

cenizas se consideran por lo general ser producto de contaminación o impurezas. La formación de cenizas de materiales puede tener una variedad de orígenes y están normalmente presentes en el combustible en forma de jabones metálicos solubles y/o sólidos abrasivos. Jabones metálicos solubles pueden provocar un aumento de los depósitos en el motor. ASTM D975 especifica la cantidad máxima de cenizas de 0,01% para diésel (Suárez 2019).

**Azufre.** La norma ASTM D975 establece variadas técnicas analíticas tales como método de alta presión de descomposición de dispositivos, fluorescencia ultravioleta, y de fluorescencia de rayos X para determinar el contenido de azufre en el combustible diésel. El contenido de azufre se informa generalmente en ppm. Actualmente, las normas de emisiones en cuanto a las limitaciones en la cantidad de azufre permitido en el diésel son más estrictas que en el pasado; por lo que, el uso de combustibles con azufre más alto incrementa los ácidos formados durante la combustión y puede resultar en un agotamiento en el número de base más rápido. El contenido máximo de azufre está incluido en la nomenclatura de grado del combustible. En el caso del N° 2 diésel existen tres grados; un S15, un S500, y un S5000. La nota se refiere al límite máximo de azufre; es decir, N° 2 diésel S15 tiene un límite máximo de 15 ppm de azufre. Esto mismo se aplica a la estructura de grado N° 1-D también (Suárez 2019).

**Corrosión al cobre.** Análisis de corrosión al Cobre para diésel indica posibles dificultades que pueden resultar con materiales de cobre en el sistema de combustible y, en general, señala un grado relativo de la corrosividad del combustible. El análisis consiste en zambullir una lámina de cobre pulido en el combustible durante tres horas a 50 °C. La lámina de cobre se limpia a continuación y el nivel de opacidad se determina mediante la confrontación de la lámina de cobre

a la corrosión Estándar ASTM Copper Strip. ASTM D975 especifica la calificación de límite máximo para la tira de cobre del N° 3 para grados 1-D y 2-D (Suárez 2019).

**Número de Cetano.** Número de cetano es una magnitud de la calidad de ignición del combustible diésel que se refiere a la simplicidad de combustión. Número de cetano es fundamentalmente una medida de retardo de la ignición de un combustible. En general, los combustibles con un número de cetano más bajo conceden un periodo de retardo de encendido más largo que los combustibles con mayor número de cetano. Para proporcionar un buen rendimiento de arranque en frío, el combustible diésel que posee buena calidad de ignición. Los resultados de análisis típicos están en el intervalo de 30 a 70, no obstante, el intervalo de número de cetano está en el rango de 0 a 100. Índice de cetano calculado se usa generalmente para calcular el número de cetano del combustible diésel. Se debe tener en cuenta que el índice de cetano no está generalmente afectado por mejoradores de cetano. ASTM D4737 indica un índice de cetano calculado mínimo de 45 (Suárez 2019).

**Número ácido.** Es una medida de los compuestos ácidos que forman parte del combustible. Típicamente, el número de ácido se aconseja primordialmente en aplicaciones de almacenamiento para monitorear los ácidos que se forman en el tanque. Con la inclusión de biodiesel, el índice de acidez ahora también se emplea como una posibilidad de inspeccionar la cantidad de ácidos grasos libres o ácidos de procesamiento que pueden estar presentes como resultado de la porción de biodiesel de la mezcla (Suárez 2019).

**Apariencia.** Se recomienda que los combustibles destilados deban ser brillantes y claros, sin presencia de sedimento visible o agua libre (Suárez 2019).



**La contaminación de partículas.** Análisis de la contaminación de partículas mide la limpieza de combustible mediante la determinación de la cantidad total de partículas mediante el filtrado de una cantidad especificada del combustible a través de filtro de membrana. Los altos niveles de contaminación por partículas pueden conducir a un aumento potencial de taponamiento del filtro, así como los niveles acelerados de desgaste del sistema de combustible y fallas de los inyectores (Suárez 2019).

**Contenido de agua.** En el combustible destilado siempre habrá algún nivel de agua, según la norma ASTM D6304 un combustible diésel de mayor calidad debe tener un nivel de agua menor a 100 ppm. El contenido de agua en más alto nivel no es de ninguna preocupación particular. En términos generales, una vez que el contenido de agua se acerca a 200 ppm el primer nivel de alerta se activa. Conservar el nivel de agua en condiciones controladas puede prevenir varios problemas relacionados con el agua, tales como la corrosión de los componentes del sistema de inyección y un mayor deterioro. El exceso de agua también desgasta la capacidad del combustible para lubricar correctamente (Suárez 2019).

**Contenido biodiésel.** Este ensayo otorga un porcentaje del volumen de biodiésel que está incluido en el combustible diésel. La mayoría de los que industrializan equipos proporcionan información detallada con respecto al empleo de mezclas de biodiesel y la cantidad autorizada de biodiesel en el combustible. ASTM D975 actualmente permite hasta 5% de biodiesel (mezcla B5) y ASTM D7467 es la especificación estándar que cubre mezclas de B6 a B20 (Suárez 2019).

**Gravedad API.** Gravedad API es una medida de la densidad del combustible. La gravedad API también se utiliza en conjunto con la destilación para proporcionar el índice de cetano calculado (Suárez 2019).

**Almacenamiento y Estabilidad Térmica.** Los vehículos motorizados pueden presentar problemas debido a que el combustible diésel tiene la propiedad de producir partículas insolubles, tales como depósitos de taponamiento y almacenes en los inyectores para nombrar unos cuantos. Estas partículas se pueden producir velozmente cuando se expone a calor, como en el caso de recirculación de sistema de combustible o también se pueden aparecer gradualmente con el tiempo mientras el combustible se degrada de forma natural. Los usuarios pueden experimentar problemas cuando los combustibles no poseen buena estabilidad térmica. En general, el combustible diésel tiene estabilidad de reserva adecuada para el uso normal; sin embargo, un programa de seguimiento de combustible es importante para el éxito de almacenamiento a largo plazo del combustible (más de un año) (Suárez 2019).

**Tabla 2.** Propiedades físicas y químicas del diésel

<b>Propiedades físicas y químicas</b>	
<b>Aspecto:</b> Líquido oleoso	<b>pH:</b> No presenta
<b>Color:</b>	<b>Olor:</b> Característico
<b>Punto de ebullición:</b> PIE 149 °C, PFE: 385 máx. (ASTM D-86)	<b>Punto de fusión/congelación:</b>
<b>Punto de inflamación/Inflamabilidad:</b> 52 °C mín. (ASTM D-93)	<b>Autoinflamabilidad:</b> 257 °C
<b>Propiedades explosivas:</b> Límite inferior explosivo: 1.3 %, límite superior explosivo: 6%	<b>Propiedades comburentes:</b> NP
<b>Presión de vapor:</b> (Reid) 0.004 Atm.	<b>Densidad:</b> 0.87 g/cm <sup>3</sup> a 15 °C (ASTM D-1298)
<b>Tensión superficial:</b> 25 dinas/cm <sup>2</sup> a 25 °C	<b>Viscosidad:</b> 1.7 - 4.1 cSt. A 40 °C (ASTM D-445)
<b>Densidad de vapor:</b> 3.4 (aire:1)	<b>Coef. reparto (n-octano/agua):</b>
<b>Hidrosolubilidad:</b> Muy baja.	<b>Solubilidad:</b> En disolventes de petróleo
<b>Otros datos:</b> Punto de obstrucción filtro frío: -6 °C (verano e invierno)	
Calor de combustión: -45500KJ/kg (ASTM D-240)	
Azufre: 0.5% masa máx. (ASTM D-4294)	
<b>Fuente:</b> Repsol (2007)	

## **CAPÍTULO III**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales**

##### **3.1.1 Material experimental**

- Aceite automotriz usado acopiado de los diferentes talleres de mecánica automotriz y centros de expendio, que a su vez hacen cambio de aceite automotriz en la ciudad de Celendín.

##### **3.1.2 Materiales y equipos de laboratorio**

- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Destilador
- Balón de gas
- Cocina
- Libreta de apuntes
- Plumón indeleble
- Cámara fotográfica, marca: Kodak.
- Cronómetro
- Balanza analítica digital.

##### **3.1.3. Otros materiales**

- Filtro colador
- Mangueras
- Electrobomba 0.5 HP

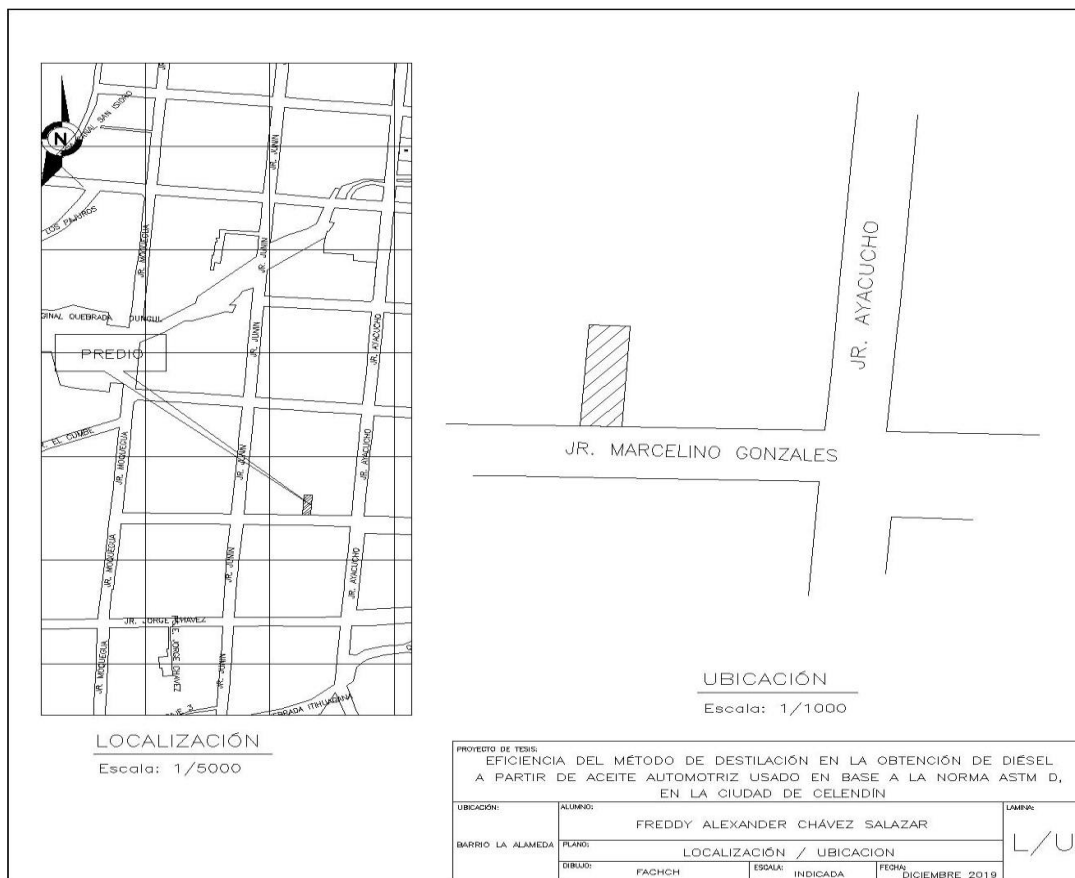
- Kit de muestreo (envases de vidrio)
- Equipo de protección personal (EPP)
- Agua en estado líquido y sólido (hielo)
- Recipiente de aluminio de 10 l.
- Convertidor de voltaje

### 3.2 Metodología

#### 3.2.1 Ubicación geográfica

##### a) Área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló y ejecutó en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Celendín, a una altura aproximada de 2628 msnm.



**Figura 2.** Plano de ubicación del proyecto

## **b) Características del lugar**

**Clima:** Según la estación de SENAMHI Celendín, la provincia tiene clima templado seco. En las zonas altas (más de 3500 m.s.n.m.), la temperatura promedio es de 9 °C entretanto que en las zonas intermedias o quechua bajo (entre 2200 y 2800 m.s.n.m.) el clima es templado con una temperatura promedio anual de 13°C, a lo largo del año la temperatura media tiene poca variación.

El periodo de lluvias se presenta entre los meses de septiembre a abril, las cuales, en muchos casos son de carácter torrencial, lo que conjuntamente con la deforestación, produce incremento de fenómenos erosivos y trae como consecuencia la pérdida de suelos (MPC 2015).

**Hidrografía:** Las aguas superficiales que fluyen en la provincia de Celendín pertenecen casi en su totalidad a la cuenca del río Marañón, una parte del territorio de la provincia pertenece a la microcuenca del río Grande y otra a las subcuencas Tolón, La Llanga y Cantange (MPC 2015).

**Geología y suelos:** La ciudad de Celendín se ubica en una depresión de depósito aluvial, formados por efecto de fuertes avenidas de agua (aluviones), compuestos por fracciones rocosas de diferentes tamaños, subredondeados y redondeados, englobados en una matriz areno-limo y arcillosa, la falla geológica más significativa es perpendicular a la falla norte a sur del río Marañón y corresponde al cañón fluvial de La Llanga (MPC 2015).

**Orografía:** Celendín por ser un distrito de la sierra, presenta una geomorfología muy accidentada e irregular representada por cerros, valles, pampas, hondonadas, barrancos, quebradas, ríos entre otros (MPC 2015).

### 3.2.2 Tipo de investigación

**Por su finalidad:** aplicada, debido a que, los resultados de la investigación permitieron recomendar el acopio y reciclaje del aceite automotriz usado para su posterior conversión a diésel, y de ese modo industrializar dicho proceso.

**Por su carácter de medida:** cuantitativa, porque se basó en resultados numéricos obtenidos de las muestras de laboratorio, que sirvieron como base para determinar la calidad del producto obtenido de acuerdo a la norma ASTM D.

**Por el método de investigación:** pre-experimental, debido a que no ha existido un grupo de control, realizándose solamente post-pruebas en laboratorio.

### 3.2.3 Diseño de la investigación

La muestra de aceite automotriz usado obtenida de los diferentes talleres y centros de venta y cambio del mismo, pasó previamente a través de un filtro colador, para evitar el ingreso de pequeñas partículas de metal producto de la combustión interna del motor, así como de otras partículas producto del proceso de cambio del lubricante, filtrado resultante que se utilizó en el proceso de destilación.

El presente proyecto de investigación es de tipo pre experimental, diseño post prueba, no habiendo un grupo control (Hammersely 2001), los análisis post prueba (O<sub>2</sub>), nos permitirán analizar si el destilado obtenido cumple con los requisitos para ser considerado como un diésel de calidad según la norma de referencia ASTM.

G            O<sub>1</sub>            O<sub>2</sub>

Donde:

G: muestra de aceite automotriz usado

O<sub>1</sub>: Análisis post prueba (muestra de destilado)

O<sub>2</sub>: Análisis post prueba (muestra de destilado).

### 3.3 Metodología aplicada

El presente proyecto de investigación se desarrolló en tres fases:

Fase de campo

Fase de laboratorio

Fase de gabinete

**a) La fase de campo comprende:**

- Construcción de un destilador artesanal y una cocina de una hornilla a gas, los mismos que se confeccionaron con material proveniente de reciclado de una chatarrería local.
- Acondicionamiento de un ambiente para la instalación del sistema experimental, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias.
- Instalación del sistema. Se empezó por la respectiva instalación de la cocina y el balón de gas respectivo, luego se acondicionó el destilador y finalmente se ubicó el sistema de rotación de agua fría, que tiene como materiales dos mangueras, un recipiente de 10 l, una electrobomba y un convertidor de voltaje de corriente para el correcto funcionamiento de la electrobomba.
- Recolección de la muestra compuesta de aceite automotriz usado de motores diésel y gasolina, las que se realizaron en dos fases por una cantidad de 6 litros aproximadamente en cada una.
- Puesta en marcha del sistema. El sistema entró en funcionamiento inmediatamente después de la instalación, dando inicio a la etapa de ejecución del proyecto.
- Recolección de muestras y envío a un laboratorio certificado. Se realizó en frascos de vidrio garantizando una buena hermeticidad, de acuerdo a las normas internacionales ASTM D y al protocolo de toma de muestras del laboratorio, el

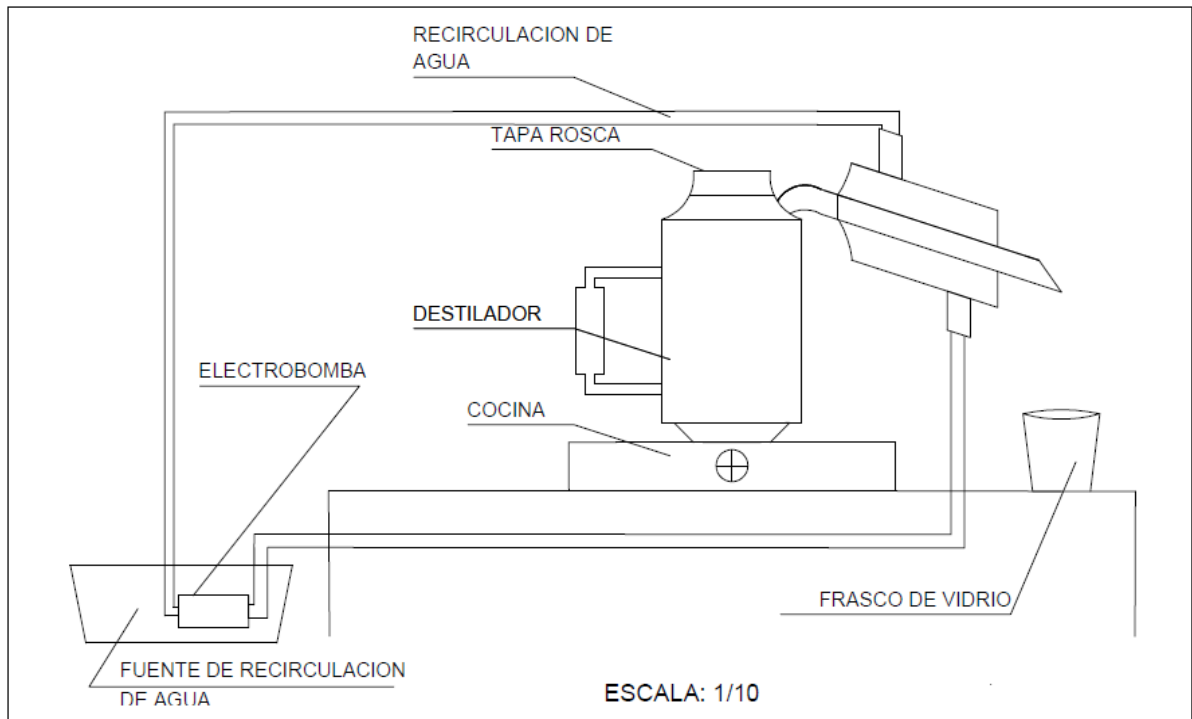
envío se hizo efectivo inmediatamente después de la recolección de las muestras; para la recolección de la muestra, se utilizó el producto del segundo destilado en cada una de las fases.

### **Construcción del prototipo de destilador artesanal**

- Obtención de los materiales necesarios para construir un destilador artesanal y la cocina.
- Se ejecutó los cortes necesarios a los tubos de acero galvanizado, los que tendrán las siguientes medidas: 25 cm de tubo de 1", 16 cm de tubo de 4" y 26 cm de tubo de 6".
- Se selló herméticamente el tubo de 6", acondicionándole una tapa rosca en la parte superior, para que permita el ingreso del aceite automotriz usado y el Hidróxido de Sodio (NaOH), así mismo evite la pérdida de gas producto del calentamiento y malos olores.
- Se acondicionó el tubo de 1" dentro del tubo de 4", teniendo en cuenta la ubicación en la parte central del mismo, el tubo de 4" debe estar completamente sellado lateralmente.
- Se soldó el tubo de 1" en la parte lateral superior del tubo de 6", para que permita el ascenso y posterior paso del gas producto de la ebullición del aceite automotriz usado.
- En la parte posterior al tubo de 6", se acondicionó una agarradera para que permita el manejo del destilador sin que exista peligro de quemadura alguna.
- Se hizo dos perforaciones de 1" en la parte superior e inferior del tubo de 4", para que el agua fluya a través del sistema de refrigeración, el cual estuvo compuesto por dos mangueras, un recipiente de aluminio, una electrobomba y un convertidor de voltaje.



- se ensambló la cocina a una válvula y llave de paso industrial, para poder regular el paso de gas propano y así tener la cantidad de fuego necesario para el experimento



**Figura 3.** Plano de prototipo de destilador artesanal

### **Funcionamiento del prototipo**

El funcionamiento del sistema para la obtención de aceite automotriz usado, se realizó de la siguiente manera:

- Se destapó la tapa rosca del destilador, y se le agregó la muestra de aceite automotriz usado (3000 ml), para luego sellar herméticamente la tapa rosca con ayuda de cinta teflón.
- Se colocó el destilador a la cocina acondicionada con gas propano, para que en el momento que la muestra alcance una temperatura de 80 a 90 °C aproximadamente pueda deshidratarse; es decir, pierda el contenido de agua y otras impurezas que pudiera tener.

- Se aumentó el volumen de fuego de la cocina, hasta que la muestra alcanzó una temperatura de 150 °C aproximadamente, de este modo acelerar la ebullición del aceite automotriz usado.
- En el momento que el destilador emitió gas por el tubo de 1", se puso en funcionamiento el sistema de refrigeración, haciendo circular agua fría a una temperatura de 4 °C aproximadamente, para evitar malos olores y al mismo tiempo para que el gas se condense y pueda caer en estado líquido, obteniéndose así el primer destilado.
- Para mejorar la calidad del producto se realizó un proceso de redestilación agregándole Hidróxido de Sodio (NaOH) a razón de 2% en relación p/p, como catalizador para acelerar el proceso de redestilación, muestra última que fue enviada a un laboratorio certificado para verificar su calidad de acuerdo a la norma ASTM D (Laboratorio SGS).

**b) La fase de laboratorio comprende:**

Esta fase fue exclusivamente del laboratorio, que se encarga de la fiabilidad de los resultados, aplicando la técnica de análisis de muestras para cada propiedad de diésel evaluada.

Se realizó de acuerdo a los requisitos mínimos del tamaño y tipo de muestra que exige la norma internacional ASTM D y el laboratorio certificado SGS, la misma que fue de 1000 ml por cada muestra.

En el laboratorio se producen resultados analíticos simples para el procesamiento de la información, dada la trascendencia de los informes de laboratorio, pueden tener resultados evidentes, todo laboratorio debe estar certificado con la finalidad de disponer de un sistema que asegure la calidad de sus resultados (Laboratorio SGS).

**Tabla 3.** Propiedades de diésel evaluadas por el laboratorio

PARÁMETRO DE CALIDAD	NORMA DE REFERENCIA	TAMAÑO DE LA MUESTRA	FRECUENCIA DE ANÁLISIS
Contenido de Agua Karl Fisher	ASTM D6304	1000 ml	15 días
Destilación Atmosférica, °C	ASTM D86	1000 ml	15 días
Gravedad API @ 15.6 °C	ASTM D1298	1000 ml	15 días
Índice de cetano calculado	ASTM D4737	1000 ml	15 días
Punto de Inflamación, °C	ASTM D93	1000 ml	15 días
Viscosidad Cinemática a 40 °C, cSt	ASTM D445	1000 ml	15 días

**Fuente:** Norma ASTM D

**c) La fase de gabinete comprende:**

Se registraron los datos obtenidos de los destilados y redestilados en cada una de las muestras, la determinación del porcentaje de producto final obtenido respecto a la muestra inicial fue determinado de la siguiente manera:

- Se efectuó el porcentaje de los redestilados en cada una de las muestras, para ello se utilizó la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de redestilado} = \frac{\text{volumen del redestilado}}{\text{volumen de la muestra}} * 100$$

- Se realizó el cálculo del promedio de los dos redestilados de cada una de las muestras, con la finalidad de obtener el porcentaje de producto final obtenido con respecto a la muestra. Se efectuó empleando la fórmula que se muestra a continuación:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = promedio aritmético

$x$  = valor individual de cada redestilado

$n$  = número de muestras

Se registraron los datos emitidos por el laboratorio de las siguientes propiedades de diésel: Contenido de agua Karl Fisher, destilación atmosférica, gravedad API, índice de cetano calculado, punto de inflamación, viscosidad cinemática y densidad a 15 °C; los cuales se contrastaron y compararon con los niveles de calidad de la norma ASTM D, para determinar la calidad del producto obtenido y si cumple con los requisitos mínimos de diésel (Laboratorio acreditado SGS). Se utilizará para ello los valores promedio de las muestras enviadas al laboratorio mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = promedio aritmético

$x$  = valor individual de cada muestra

$n$  = número de muestra

## CAPÍTULO IV

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Eficiencia del método de destilación

Para determinar el porcentaje de eficiencia del método de destilación en la obtención de diésel a partir de aceite automotriz usado, se estableció el promedio del porcentaje de los redestilados de la primera y segunda muestra.

**Tabla 4.** Volumen promedio final obtenido

Volumen de la muestra (ml)	Primera muestra		Porcentaje de redestilado (%)	Segunda muestra		Porcentaje de redestilado (%)	Promedio de redestilados (%)
	Destilado (ml)	Redestilado (ml)		Destilado (ml)	Redestilado (ml)		
3000	2475	2200	73,33	2525	2275	75,83	74,58

En la tabla 4 se muestra que:

- El porcentaje obtenido en el redestilado de la primera muestra (2200 ml) con respecto al volumen inicial de la muestra (3000 ml), fue de 73,33 %.
- El porcentaje obtenido en el redestilado de la segunda muestra (2275 ml) con respecto al volumen inicial de la muestra (3000 ml), fue de 75,83 %.
- El porcentaje promedio de diésel (como producto final) con respecto al volumen inicial de la muestra (3000 ml) fue de 74,58 %.

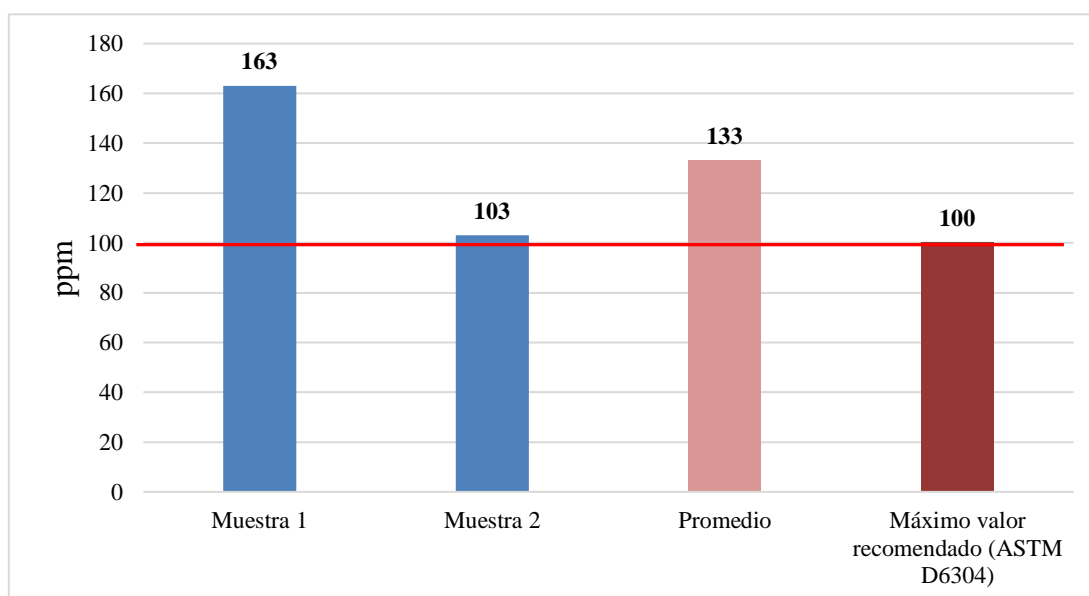
Almeida et al. (2010), determinaron que la eficiencia del tratamiento a partir de las muestras de aceite usado es del 87%, lo que conlleva a una considerable recuperación del valor energético del lubricante, a la vez concluyen que para fabricar un litro de diésel necesitan 1,15 litros de aceite usado. En la presente investigación se obtuvo un rendimiento promedio de 74,58%, lo que implica que para obtener un litro de diésel se requiere de 1,34 litros de aceite automotriz usado, situación que podría mejorar significativamente dado que el proceso de obtención de diésel como producto final se realizó de manera artesanal.

#### 4.2 Contenido de agua Karl Fisher

Los valores de contenido de agua Karl Fisher obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figuras 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 5.** Promedio de contenido de Agua Karl Fisher

Indicador	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Contenido de agua Karl Fisher (ppm)	163	103	133



**Figura 4.** Contenido de agua Karl Fisher

En la figura 4, se muestra que el promedio de los resultados de laboratorio de contenido de agua Karl Fisher es de 133 ppm, resultado que podría mejorar notablemente dado que la producción fue desarrollada de manera artesanal; además, el primer destilado coincidió con un día de lluvia lo que pudo afectar el contenido de agua en la muestra, en la segunda muestra se obtuvo un resultado de 103 ppm, a consecuencia de un mejor cuidado en el secado de los envases de vidrio y a la vez que se realizó en un día con presencia de brillo solar.

Siempre va a existir algún volumen de agua en el combustible destilado medio, pero el combustible diésel de mejor calidad tiene un volumen de agua menor de 100 ppm. La capacidad de agua en más alto nivel no es de ninguna inquietud en particular. En términos generales, una vez que el contenido de agua se acerca a 200 ppm el primer nivel de alarma se activa (Suárez 2019).

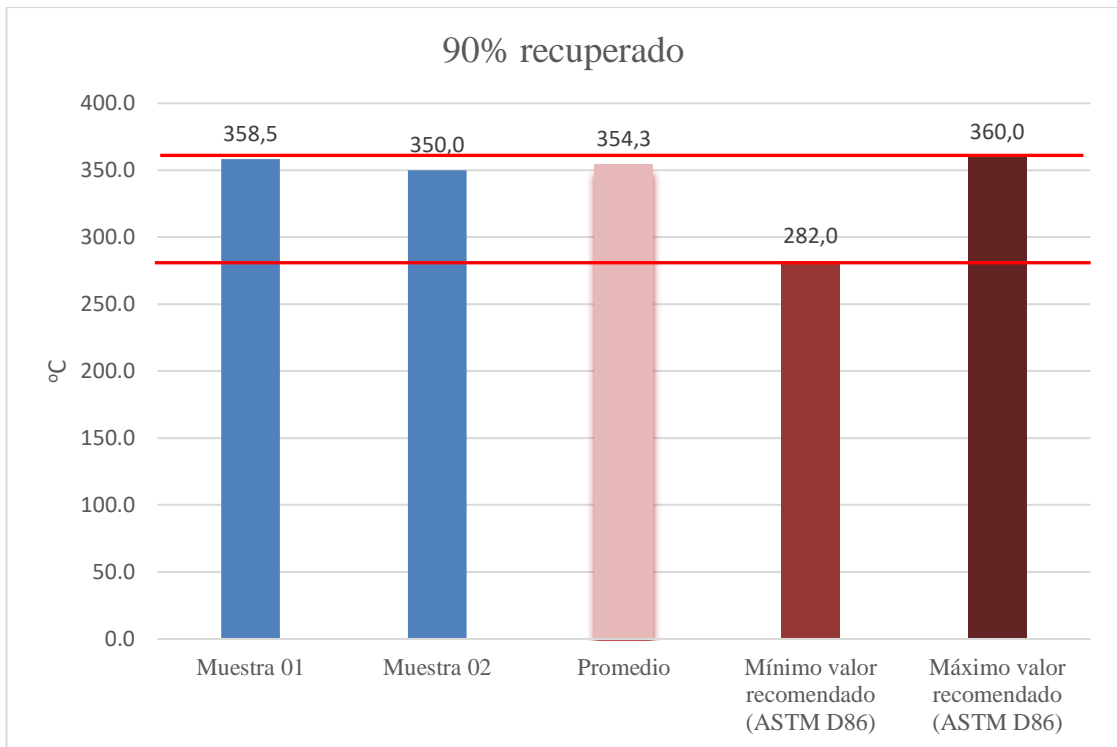
### **4.3 Destilación atmosférica**

Los valores de destilación atmosférica obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figuras 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 6.** Promedio de destilación atmosférica

<b>Propiedad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Promedio</b>
Destilación (°C)			
Punto Inicial de Ebullición	104,0	111,0	107,5
5% recuperado	127,0	133,0	130,0
10% recuperado	151,5	152,0	151,8
15% recuperado	169,0	171,5	170,3
20% recuperado	188,0	189,0	188,5
25% recuperado	204,0	206,0	205,0
30% recuperado	217,5	221,0	219,3
35% recuperado	237,5	235,5	236,5
40% recuperado	250,0	249,0	249,5
45% recuperado	261,5	261,0	261,3
50% recuperado	274,0	273,5	273,8
55% recuperado	284,0	284,0	284,0
60% recuperado	295,0	294,0	294,5
65% recuperado	304,5	304,0	304,3
70% recuperado	315,0	313,0	314,0
75% recuperado	325,0	322,0	323,5
80% recuperado	335,0	333,0	334,0
85% recuperado	346,5	343,5	345,0
90% recuperado	358,5	350,0	354,3
95% recuperado	369,0	366,0	367,5
Punto final de ebullición	373,0	373,0	373,0





**Figura 5.** Promedio de temperatura de destilación atmosférica al 90%

En la figura 5, se puede evidenciar que la temperatura promedio de las muestras de destilación atmosférica de la investigación al 90% recuperado fue de 354,3 °C; valor que cumple con la norma ASTM D86, la que especifica una temperatura mínima de 282 °C y una temperatura máxima de 360 °C. (PETROPERÚ s. f.)

El perfil de destilación, que es una característica elemental de combustible, concede una medida de la volatilidad del combustible proporcionando así una indicación de la calidad. Para mantener un buen rendimiento del motor la volatilidad del combustible aceptable es importante, generalmente el diseño del motor dicta los requerimientos de volatilidad de combustible. Mientras que varias son las temperaturas que determinará y se indicará con un análisis de la destilación en general, la única temperatura que se especifica es la que se produce la recuperación del 90% (Suárez 2019).

En la tabla 6 se establece el promedio de destilación atmosférica de las dos muestras de la investigación, con la finalidad de realizar una comparación con las calidades típicas de combustible diésel en el Perú, expresado en el anexo 3. (Poma 2004: 40)

**Tabla 7.** Comparación de calidades típicas de destilación atmosférica de combustible diésel en el Perú con los resultados promedio obtenidos en la investigación.

Propiedad	Especificaciones		Refinería				Promedio de muestras de la investigación
	Mín.	Máx.	La Pampilla	Refinería Conchán	Refinería Talara	Refinería Iquitos	
VOLATILIDAD							
Destilación (°C a 760 mm Hg)							
Punto Inicial de Ebullición	Reportar		152	173	163	155	107,5
10% recuperado	Reportar		197	237	204	208	151,8
50% recuperado	Reportar		298	298	297	298	273,8
90% recuperado	282	360	348	349	350	350	354,3
Punto Final de Ebullición			373	379	379	369	373,0
Recuperado % vol	Reportar		98	98	98	97,8	97,5
Residuo % vol	Reportar		1,8	1	1,5	1,6	1,5
Pérdida % vol	Reportar		0,2	1	0,5	0,6	1,0

En la tabla 7, se observa la comparación de resultados para destilación atmosférica de acuerdo a la norma ASTM D86, entre las refinerías La Pampilla, Conchán, Talara, Iquitos y los resultados obtenidos en la presente investigación:

- El punto inicial de ebullición del promedio de muestras del proyecto fue de 107,5 °C, valor muy por debajo de las temperaturas de las refinерías La Pampilla, Conchán, Talara e Iquitos, lo cual es beneficioso porque se utilizaría menor cantidad de energía que las refinерías mencionadas por consecuente habría menores costos de producción.
- La temperatura promedio de las muestras del proyecto al 10% recuperado fue de 151,8 °C, valor por debajo de las temperaturas de las refinерías La Pampilla, Conchán, Talara e Iquitos, lo que significaría mejores costos de producción que las refinерías mencionados dado que se utilizaría menor cantidad de energía.
- La temperatura promedio de las muestras del proyecto al 50% recuperado fue de 273,8 °C, valor por debajo de las temperaturas de las refinерías La Pampilla, Conchán, Talara e Iquitos, lo que significaría mejores costos de producción que las refinерías mencionados dado que se utilizaría menor cantidad de energía.
- El punto final de ebullición del promedio de muestras fue de 373 °C, valor igual a la refinерía La Pampilla, mayor a la refinерía Iquitos y menor a las refinерías Conchán y Talara.
- El porcentaje de volumen recuperado del promedio de las muestras fue de 97,5%, valor muy cercano a la refinерía Iquitos que tiene un valor de 97,8% y a las refinерías La pampilla, Conchán y Talara, las que tienen un valor de 98% , lo que significa que de 1000 ml de muestra se podría recuperar 975 ml como resultado de la destilación atmosférica, siendo muy beneficioso económicamente si se industrializa la investigación.
- El porcentaje de residuo obtenido del promedio de las muestras fue de 1,5%, valor igual al porcentaje obtenido por la refinерía Talara, mayor al porcentaje de

la refinera Conchán y menor al porcentaje de las refineras La Pampilla e Iquitos.

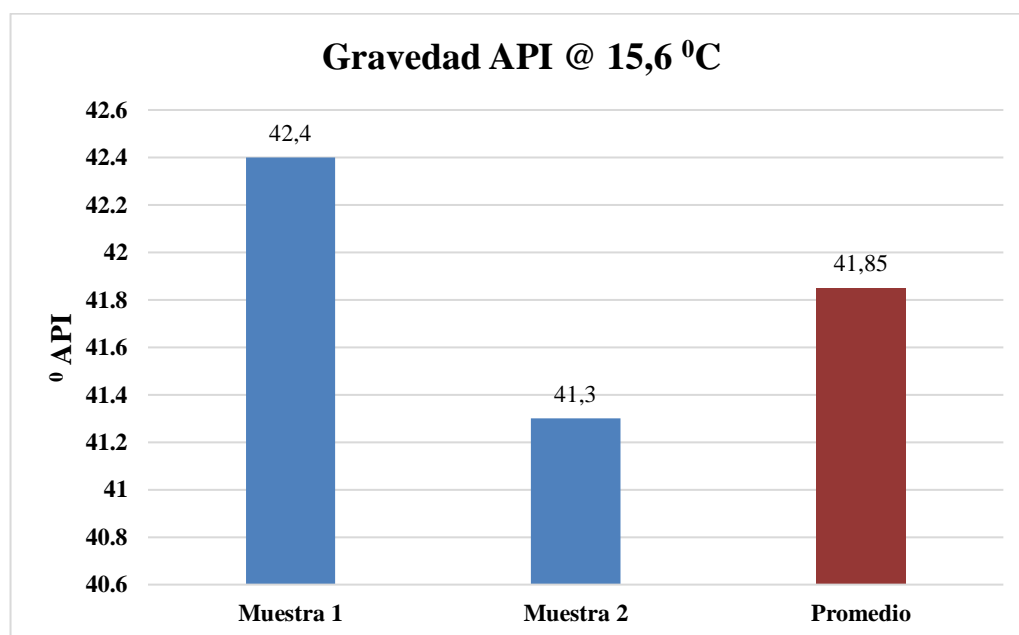
- El porcentaje de pérdida del promedio de las muestras fue de 1%, valor igual al porcentaje obtenido por la refinera Conchán, pero mayor al porcentaje de las refineras La Pampilla, Talara e Iquitos.

#### 4.4 Gravedad API @ 15,6 °C

Los valores de contenido de gravedad API @ 15,6 °C obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figuras 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 8.** Promedio de gravedad API @ 15,6 °C

Indicador	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Gravedad API @ 15,6 °C (Kg/m <sup>3</sup> )	42,4	41,3	41,85



**Figura 6.** Promedio de Gravedad API @ 15,6 °C

De la figura 6, promedio de gravedad API @ 15,6 °C obtenido de la muestra 1 y la muestra 2 de la investigación, se puede establecer una clasificación con las calidades típicas de combustible diésel en el Perú, expresado en el anexo 3. (Poma 2004: 40)

**Tabla 9.** Comparación de calidades típicas de gravedad API @ 15,6 °C de combustible diésel en el Perú con el resultado promedio de la investigación.

Propiedad	Método	Refinería				Promedio de muestras de la Investigación
		La Pampilla	Refinería Conchán	Refinería Talara	Refinería Iquitos	
Gravedad API @ 15,6 °C (°API)	ASTM D1298	33,3	32	34,3	36,4	41,9

Según sus grados API, el crudo se clasifica en: (Nava 2014)

- El crudo ligero o liviano con grado API mayor a 31,1; contiene gran concentración de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar, con este tipo de crudo se busca obtener la mayor cantidad de combustible posible, en forma de diésel, queroseno y gasolina.
- El crudo medio o mediano con grado API entre a 31 y 22, contiene concentración media de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener combustible y materias primas para polímeros y parafinas.
- El crudo pesado con grado API entre a 21,9 y 10, contiene gran concentración de hidrocarburos de mediano peso molecular, lo cual lo hace complicado de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener la mayor cantidad de parafinas, polímeros y aceites lubricantes.

- El crudo extrapesado de API iguales o inferiores a 10,0 Grados API, contiene menos concentración de hidrocarburos con mayor peso molecular, lo cual lo hace más pesado y difícil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener aceites, parafinas, polímeros y betunes.

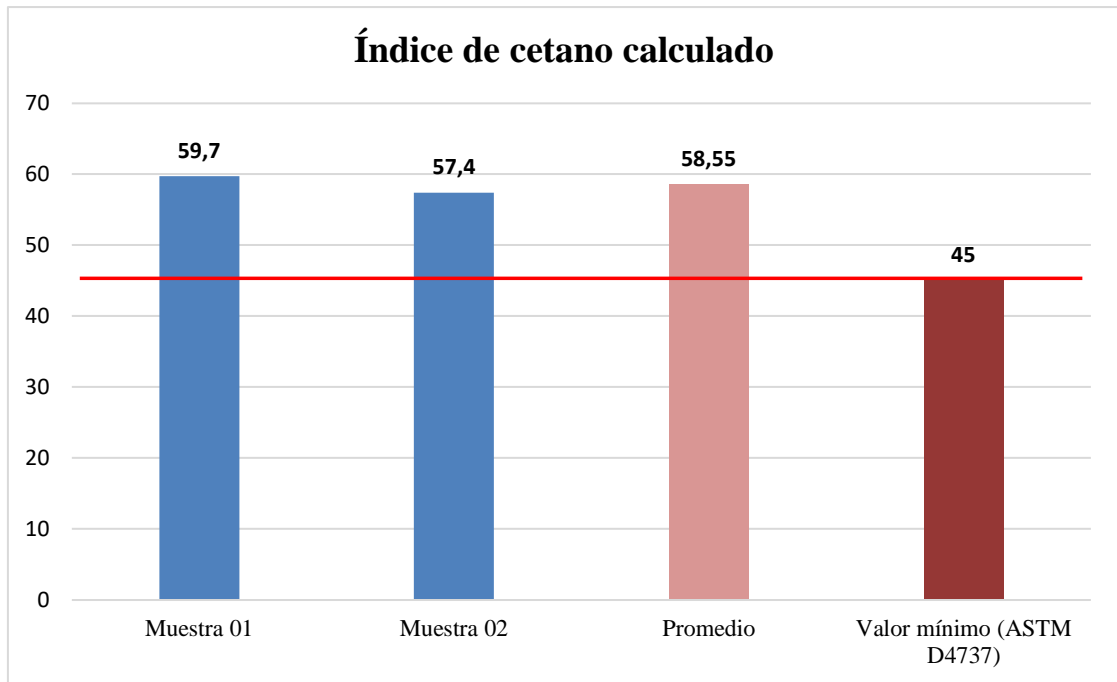
En la tabla 9, se observa la comparación de resultados para gravedad API @ 15,6 °C de acuerdo a la norma ASTM D1298, entre las refinerías La Pampilla, Conchán, Talara, Iquitos y el promedio de muestras obtenidas en el presente proyecto, que tiene un valor de 41,9 °API, por encima de los valores obtenidos en las refinerías La Pampilla, Conchán, Talara e Iquitos, razón suficiente para expresar que la muestra obtenida en la investigación es de buena calidad, inclusive mejor que el de las refinerías antes mencionadas.

#### 4.5 Índice de cetano calculado

Los valores de índice de cetano calculado obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figuras 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 10.** Promedio de índice de cetano calculado

Indicador	Muestra 01	Muestra 2	Promedio
Índice de cetano calculado	59,7	57,4	58,55



**Figura 7.** Comparación de resultados de laboratorio de índice de cetano calculado con la norma ASTM D4737

En la figura 7, se muestran los resultados de laboratorio de índice de cetano calculado, de la primera muestra, cuyo valor es de 59,7, de la segunda muestra que alcanzó un valor de 57,4 y el promedio de las dos muestras obtenidas, el cual registra un valor de 58,55; indicando además que todos los valores obtenidos se encuentran por encima de 45 límite mínimo para diésel según la norma ASTM D4737, lo que indica que el combustible obtenido en la investigación es de muy buena calidad.

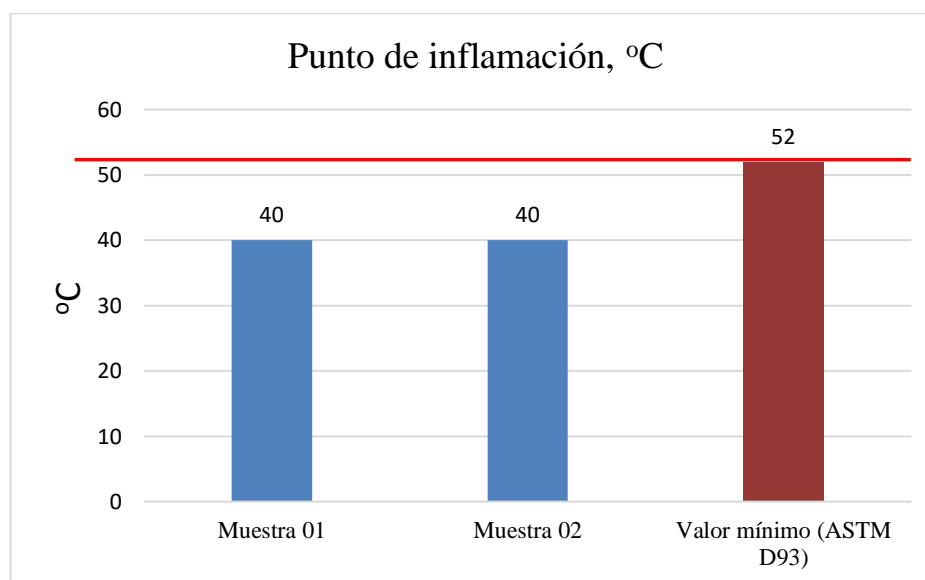
Cuanto menor es la tardanza de la ignición y mejor es la calidad del combustible, el número de cetano es más alto. Si el motor presenta combustión inadecuada lo que da lugar ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento del vehículo, entonces el número de cetano es demasiado bajo (Suárez 2019).

#### 4.6 Punto de inflamación

Los valores de punto de inflamación obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figura 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 11.** Promedio de índice de punto de inflamación

Indicador	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Punto de inflamación (°C)	40	40	40



**Figura 8.** Comparación de resultados de laboratorio de punto de inflamación con la norma ASTM D93

En la figura 8, se muestran los resultados de laboratorio de la primera y segunda muestra, que ambos casos alcanzaron un valor menor de 40 °C, indicando además que todos los valores obtenidos se encuentran por debajo de 52 °C límite mínimo para diésel según la norma ASTM D93, por lo que se debe tener bastante cuidado con su almacenamiento y manipulación.



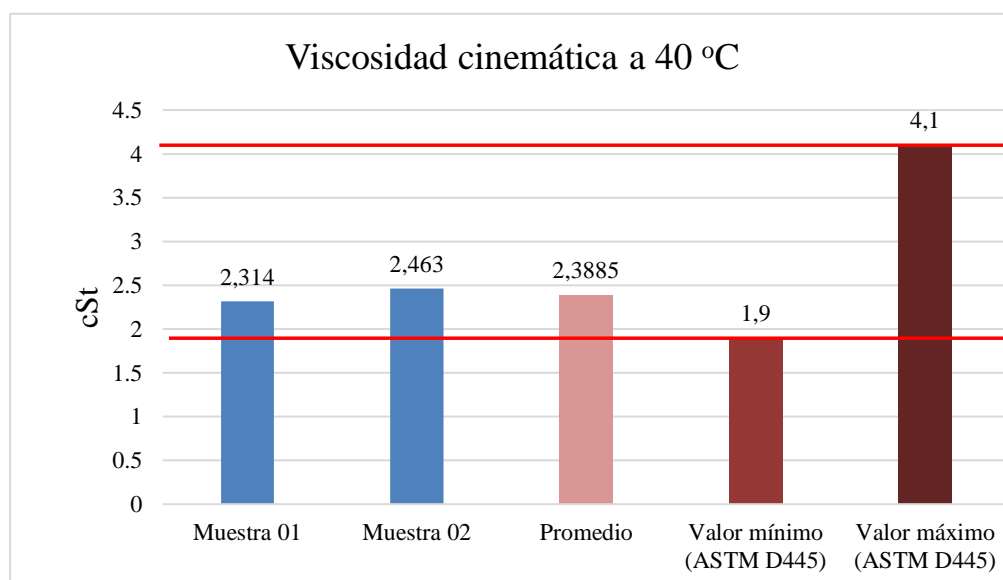
Punto de inflamación de combustible diésel, o la temperatura de combustión más bajo, no influye en el rendimiento del motor, pero se usa como una medida de seguridad. Diésel Fuel le asigna un punto de inflamación entre 38 °C y 71 °C, el punto de diésel flash varía inversamente con su volatilidad, un punto de inflamación más alto hace diésel más seguro de manejar y almacenar que la gasolina (Suárez 2019).

#### 4.7 Viscosidad cinemática a 40 °C

Los valores de viscosidad cinemática a 40 °C obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figuras 10, 11, 12 y 13).

**Tabla 12.** Promedio de viscosidad cinemática a 40 °C

Indicador	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Viscosidad cinemática a 40°C (cSt)	2,314	2,463	2,3885



**Figura 9.** Comparación de resultados de laboratorio de viscosidad cinemática a 40 °C con la norma ASTM D445

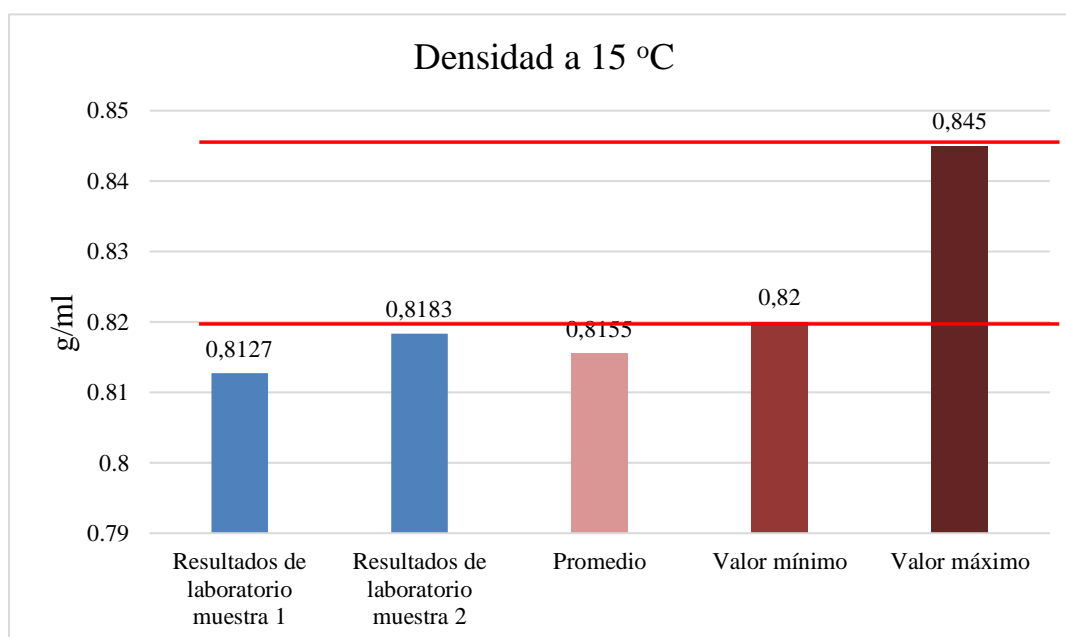
En la figura 9, se muestran los resultados de laboratorio de la primera muestra, cuyo valor es de 2,314 cSt, de la segunda muestra que alcanzó un valor de 2,463 cSt y el promedio de las dos muestras obtenidas, el cual registra un valor de 2, 3885 cSt, indicando además que todos los valores obtenidos se encuentran por encima de 1,9 cSt y por debajo de 4,1 cSt, límites mínimo y máximo respectivamente para diésel según la norma ASTM D445.

#### 4.8 Densidad a 15 °C

Los valores de densidad a 15 °C obtenidos de laboratorio acreditado SGS se presentan en el anexo 2 (figura 10, 11,12 y 13).

**Tabla 13.** Promedio de densidad a 15 °C

INDICADOR	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Densidad a 15°C	0,8127	0,8183	0,8155



**Figura 10.** Comparación de resultados de laboratorio de densidad a 15 °C con la norma ASTM D4052

En la figura 10, se muestran los resultados de laboratorio de la primera muestra, cuyo valor es de 0,8127 g/ml, de la segunda muestra que alcanzó un valor de 0,8183 g/ml y el promedio de las dos muestras obtenidas, el cual registra un valor de 0,8155 g/ml, indicando además que todos los valores obtenidos se encuentran ligeramente por debajo de 0,82 g/ml, límite mínimo para diésel según la norma ASTM D4052. Pero como se observa la diferencia no es significativa así que podría concluirse que la densidad a 15 °C cumple con el requisito, no afectando la calidad del producto obtenido en la investigación.

## CAPÍTULO V

### V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La eficiencia del método de destilación térmica en la obtención de diésel a partir de aceite automotriz usado, es de 74,58%, lo que implica una importante recuperación del valor energético del lubricante. Se puede concluir que para producir un litro de diésel se requiere de 1,34 litros de aceite automotriz usado, resultados que podrían mejorar industrializándose la producción, dado que el proceso de destilación del proyecto se realizó de forma artesanal.
- De acuerdo a los informes de ensayo con valor oficial, emitidos por SGS laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL – DA con registro N° LE – 002, el producto obtenido de la primera y segunda muestra de la investigación es diésel.
- Al someter el aceite automotriz usado a un proceso de destilación, se obtuvieron resultados favorables ya que el producto cumple con los parámetros establecidos por ASTM D en la mayoría de las propiedades evaluadas. Contenido de agua Karl Fisher, destilación atmosférica, gravedad API @ 15,6 °C, índice de cetano calculado, viscosidad cinemática a 40 °C, se encontraron en el rango especificado en la norma para diésel. En el caso de densidad a 15 °C el resultado obtenido es muy cercano a la norma ASTM D4052, por lo que podría concluirse que si cumple con el valor mínimo establecido y bajo condiciones más controladas se podría cumplir con el requisito. La única propiedad evaluada que

no cumple con ASTM D es el punto de inflamación, dado que se obtuvo un valor muy por debajo al requisito mínimo, resultado que no afecta la calidad del producto pero que indica que debemos tener bastante cuidado en su almacenamiento y manipulación.

## **5.2. Recomendaciones**

- Para poder tener un mejor rendimiento en cuanto al porcentaje de eficiencia con el prototipo de destilador de la presente investigación, se recomienda utilizar solamente 1500 ml de muestra, ya que de acuerdo a la norma ASTM D, sólo se necesita 1000 ml del diésel elaborado para análisis de laboratorio, de ese modo se podría evitar pérdida del producto elaborado por derrames al momento de transvasar el producto obtenido.
- En cuanto a la propiedad evaluada de contenido de agua Karl Fisher, donde se obtuvo un promedio de 133 ppm, no cumpliendo con el valor recomendado de 100 ppm de acuerdo a la norma ASTM D93, se recomienda tener mayor cuidado en cuanto al secado de los envases de vidrio de recepción de la muestra y de envío al laboratorio, así como realizar el proceso de destilación en un ambiente cerrado y en un día con presencia de brillo solar.
- Para próximas investigaciones de elaboración de diésel a través de la destilación térmica, se sugiere evaluar las propiedades faltantes como por ejemplo metales pesados, contenido de azufre, análisis de corrosión al cobre y otros, para tener una precisión más exacta de la calidad del combustible elaborado, así como realizar una investigación con muestras de aceite automotriz usado proveniente de motores con combustible diésel y gasolina, a efecto de comparar y contrastar la calidad de los productos obtenidos.

- Realizar una investigación actualizada en la ciudad de Celendín sobre el volumen de aceite automotriz usado que se genera en la ciudad de Celendín con la finalidad de efectuar posibles cálculos matemáticos sobre el volumen de diésel que se podría obtener a fin de industrializar la investigación realizada.
- Para mejorar la temperatura del punto de inflamación (flash point), que según la norma ASTM D93 especifica como mínimo 52 °C, se recomienda identificar mediante análisis de laboratorio que sustancia más volátil está contaminando a las muestras redestiladas obtenidas.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, D; Játiva, F; Aguirre, B. (2010). Conversión de aceite lubricante usado de automóviles a diésel #2 (en línea). Ecuador, Universidad San Francisco de Quito. Disponible en <https://docplayer.es/18686935-Conversion-de-aceite-lubricante-usado-de-automoviles-a-diesel-2.html>.
- Altamirano, A; Pabón, H. 2016. Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor. (en línea). Latacunga, s.e. 177 p. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11809/T-ESPEL-MAI-0562.pdf?s>.
- Arancibia, Y; Calero, T. 2011. Obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas oleaginosas de la provincia de Chimborazo (en línea). Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 182 p. Disponible en <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/796/1/236T0041.pdf>.
- ASTM INTERNATIONAL. 2016. ASTM D4737-10 (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/Standards/D4737-SP.htm>.
- ASTM INTERNATIONAL. 2017. ASTM D1298-12b (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/Standards/D1298-SP.htm>.
- ASTM INTERNATIONAL. 2018. ASTM D86-18 (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D86-18-SP.htm>.

- ASTM INTERNATIONAL. 2018. ASTM D93-16a (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D93-16A-SP.htm>.
- ASTM INTERNATIONAL. 2018. ASTM D445-19a (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/Standards/D445>.
- ASTM INTERNATIONAL. 2018. ASTM D6304 (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.astm.org/Standards/D6304-SP.htm>.
- Barrera, L; Velecela, F. (2015). Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de las soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del cantón Azogues. (en línea). Cuenca, Ecuador, s.e. 132 p. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7691/1/UPS-CT004551.pdf>.
- Duran, R. (2013). Manual de Educación Ambiental para el manejo adecuado de los aceites usados en la ciudad de Riobamba. (en línea). Riobamba, Ecuador, s.e. 113 p. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3074/1/26T00019.pdf>.
- El-Fadel, M; Khoury, R. 2001. Strategies for vehicle waste-oil management: A case of study. Resources, Conservation and Recycling. 33 ed. s.l., s.e.
- García, E; Alfaro, Y; Ruiz, M. 2012. Estudio de prefactibilidad para la generación de biodiesel a partir de aceite quemado en el restaurante Tip Top, Estelí, Nicaragua. (en línea). Nicaragua, Universidad Nacional de Ingeniería. 370 p. Disponible en <https://pdfslide.tips/documents/proceso-de-investigacion-del-biodiesel.html>.
- Hammersely, C. (2001). Research and Evaluation in Parks and Recreation Management (en línea). s.l., Northern Arizona University. Disponible en [http://www.prm.nau.edu/prm447/research\\_design\\_lesson.htm](http://www.prm.nau.edu/prm447/research_design_lesson.htm).



- Intor, I. (2015). Análisis y Tratamiento de la Contaminación de los Suelos. Celendín, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Jones, J. (2007). Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado. (en línea). Valparaiso, Chile, s.e. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcij.78d/doc/bmfcij.78d.pdf>.
- Medina, M; Ospino, Y. 2011. Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales (en línea). Colombia, s.e. 136 p. Disponible en <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/122/Tesis%20-%20Biodiesel.pdf?s>.
- Medina, V; Sánchez, M. (2012). Diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite usado procedente de vehículos. (en línea). Riobamba, Ecuador, s.e. 203 p. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2509/1/96T00190.pdf>.
- MINEM (Ministerio de Energía y Minas, Perú). 1994. Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/DECRETO%20SUPREMO%2026-94-EM.pdf>.
- MINEM (Ministerio de Energía y Minas, Perú). (2014). Estadísticas: Balanza Comercial de Hidrocarburos (en línea). s.l., s.e. Disponible en [http://www.minem.gob.pe/\\_estadisticaSector.php?idSector=5](http://www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php?idSector=5).
- Molina, N; Rankin, N. 2013. Avance exploratorio de manejo y disposición final del automotor usado, como residuo peligroso generado en las actividades de cambio de

- aceites en diferentes establecimientos de la ciudad de Cali. Cali, Colombia, s.e. 197 p.
- Mott, R. 1996. Mecánica de fluidos aplicada,. 4 ed. s.l., s.e. 515 p.
- MPC (Municipalidad Provincial de Celendín, PE). SEMACEL (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Celendín, PE). (2015). Planta de tratamiento de aguas residuales - Celendín. s.l., s.e.
- Nava, M. 2014. Tipos de petróleo crudo según grado API (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.venelogia.com/archivos/9589/>.
- Normas ASTM. (s. f.). s.l., s.e. Consultado 26 jun. 2018. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/ASTM>.
- PETROPERÚ. Especificaciones Técnicas PETROPERÚ (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.petroperu.com.pe/Docs/spa/files/productos/especificacionestecnicasdb5-s50-2014.pdf>.
- Poma, K. 2004. Evaluación de la calidad del diesel 2 basado en sus propiedades cetánicas. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 118 p.
- Repsol. 2007. Ficha de datos de seguridad (en línea). s.l., s.e. Consultado 6 jul. 2018. Disponible en [https://www.repsol.com/imagenes/pe\\_es/g84%20010607\\_tcm18-422402.pdf](https://www.repsol.com/imagenes/pe_es/g84%20010607_tcm18-422402.pdf).
- Rosales, L. 2008. Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de automóvil con el hongo de la pudrición blanca Pleurotus ostreatus (setas) en Durango. (en línea). Victoria de Durango, México, s.e. 107 p. Disponible en <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3622/BIORROMEDIACIONSUELOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Suárez, D. 2019. Estudio de los efectos de la mezcla de biodiésel y aditivos en la eficiencia de motores diésel (en línea). s.l., s.e. 68 p. Disponible en [repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3639/1/Estudio%20de%20los%20efectos%20de%20la%20mezcla%20de%20biodiésel%20y%20aditivos%20en%20la%20eficiencia%20de%20motores%2C%20Tesis%20David%20Suárez.pdf](http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3639/1/Estudio%20de%20los%20efectos%20de%20la%20mezcla%20de%20biodiésel%20y%20aditivos%20en%20la%20eficiencia%20de%20motores%2C%20Tesis%20David%20Suárez.pdf).
- Tester, J; Drake, E; Driscoll, M; Golay, M; Peters, W. (2005). The Engine of Sustainable Development. Cambridge, s.e. 1-48 p.
- Tormos, B. 2005. Diagnóstico de motores Diesel mediante el análisis del aceite usado. s.l., Reverté. 133-178 p.
- Torres, P. 2014. Diseño de un sistema de recolección y el re-refinamiento de los aceites lubricantes usados en la ciudad de Loja. Quito, Ecuador, s.e. 138 p.
- Vásquez, J. (2013). Gestión integral del aceite automotor reciclable en Cuenca. (en línea). Cuenca, Ecuador, s.e. 201 p. Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/546/1/TESIS.pdf>.
- Viteri, L; Jaramillo, J. (2011). Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustrado municipio del Cantón Archidona (en línea). Riobamba, Ecuador, s.e. 186 p. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/947/1/65T00018.pdf>.

## **CAPÍTULO VII**

### **VII. ANEXOS**

**Anexo 1.** Cotización de análisis de diésel empresa SGS

**Anexo 2.** Resultados de laboratorio

**Anexo 3.** Calidades típicas de combustibles diésel en el Perú

**Anexo 4.** Norma ASTM

**Anexo 5.** Panel fotográfico

# **ANEXO 1**



## COTIZACION N° OGC/LAB - 00097122/2018

SOLICITANTE : CHAVEZ SALAZAR FREDDY ALEXANDER

ATENCIÓN : FREDDY ALEXANDER CHAVEZ SALAZAR  
DIRECCIÓN : JR. MARCELINO GONZALES NRO. 219  
PAIS : PERU  
N° PROPUESTA : 1  
EJECUTIVO DE CUENTA :  
ASUNTO : ANÁLISIS DE DIESEL B5

TELÉFONO : (L) 931667527

RUC : 10401465524  
FECHA : 23/04/2018

### SERVICIOS SOLICITADOS

Descripción  
PAQUETE DIESEL B5

Monto ( US\$ )  
Sin IGV 18% Inc. IGV 18%  
317.00 374.06

\* Contenido de Agua Kari Fisher (ASTM D6304)  
\* Destilación Atmosférica, °C (ASTM D86)  
\* Gravedad API @15.6°C (ASTM D1298 )  
\* Índice de Cetano Calculado (ASTM D4737)  
\* Punto de Inflamación, °C (ASTM D93)  
\* Viscosidad Cinemática a 40°C, cSt (ASTM D445)

Pruebas adicionales para el cálculo del Índice de cetano:  
\* Densidad A 15°C (ASTM D4052)

Nota:  
Se utiliza última versión de la norma.

### PROPUESTA ECONÓMICA

Sin IGV 18% 317.00 Son : TRESCIENTOS DIECISIETE Y 00/100 DOLARES AMERICANOS  
Inc. IGV 18% 374.06 Son : TRESCIENTOS SETENTA Y CUATRO Y 06/100 DOLARES AMERICANOS

CONDICIONES DE VENTA : CONTADO  
VIGENCIA : 23/04/2018 al 08/05/2018  
RESPONSABLE DE SGS : KARLA GENIFER CARQUIN CHAVEZ

IMPORTANTE: Cuentas Bancarias Perú: Cta. Cte. Banco de Crédito S/. 193-0253467-0-71, Cta. Cte. Banco de Crédito US\$ 193-0666076-1-49, Cta. Cte. Scotiabank S/. 000-1626833, Cta. Cte. Scotiabank US\$ 000-0866313

### PLAN DE MUESTREO / ALCANCE DEL SERVICIO

PLAN DE MUESTREO / ALCANCE DEL SERVICIO

\* La tarifa no incluye transporte ni muestreo.

\* Las muestras deberán ser extraídas y proporcionadas por el cliente en envases adecuados para el tipo de combustible. El material recomendado son frascos de vidrio con tapa y contratapa para una buena hermeticidad.

\* Advertencia: El uso de envases plásticos para la toma y conservación de muestras de petróleo y derivados, esta restringido para ciertas aplicaciones de acuerdo a la Norma ASTM D 5854 / API MPMS Capítulo 8.3. De acuerdo a esta norma, el uso de envases plásticos podría afectar negativamente algunos de los resultados de análisis así como ciertas propiedades durante el periodo de almacenamiento.

En caso de recibir muestras en envases plásticos procederemos a incluir la siguiente nota en los informes / certificados emitidos por SGS: "Las muestras recibidas en envases plásticos podrían no cumplir con la norma ASTM D 5854 / API MPMS Capítulo 8.3 y afectar la naturaleza y representatividad de las mismas".

### OBSERVACIONES

\* Horario de atención: De Lunes a Viernes de 09:00 hasta las 17:00 hrs y Sábados de 09:00 a 12:00 hrs.

\* Remitir muestras: Av. Elmer Faucett 3348, Calle B139 (Lado lateral del Edificio SGS) - Callao.

\* Cantidad mínima de muestra necesaria 1 litro.

\* Tiempo de Respuesta: 5 días laborables.

\* La contramuestra se almacenara por 15 días finalizado el análisis.

\* Cualquier consulta o duda, gustosamente la atenderemos en el 517-1900:

Anexo 1368 (Karla Carquin – karla.carquin@sgs.com)

Anexo 1975 (Ruben Leon – Ruben.leon@sgs.com)

Todos los servicios de SGS son prestados de acuerdo con las Condiciones Generales de Servicios de SGS. Ver <http://www.sgs.pe/es-ES/Termo-and-Conditions.aspx> Sírvanse tener en cuenta las definiciones de limitación de responsabilidad, indemnización y jurisdicción contenidas en el citado documento. Al firmar este documento, el cliente confirma que acepta las Condiciones Generales de Servicios de SGS. SGS podrá cambiar los métodos acordados por razones técnicas u operativas. La versión de los métodos cotizados podría variar de acuerdo a las entidades normativas/mejoras internas. Si tienen algún reclamo sírvase contactarse con nosotros por los siguientes medios: [pe.atencionreclamos@sgs.com](mailto:pe.atencionreclamos@sgs.com);

La aceptación de la cotización se dará con la firma de este documento, con la aprobación vía e-mail o el envío

Firma del Solicitante : \_\_\_\_\_

Figura 11. Cotización para análisis de diésel

# **ANEXO 2**





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

FECHA DE IMPRESIÓN: 26/09/2018

SGS Oil, Gas and Chemicals  
Av. Elmer Faucett  
3348, Callao 1  
Perú  
PO Box 27-0125  
t (51-1) 517 1900  
f (51-1) 575 4089  
www.pe.sgs.com

CHAVEZ SALAZAR FREDDY ALEXANDER  
JR. MARCELINO GONZALES NRO 219 CELENDIN

### Informe de Ensayo con Valor Oficial: CA1802609.001

CLIENTE ORDEN NO :	665336-1	SGS ORDEN NO.:	--
CLIENTE ID :	DIESEL	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO :	Diesel B5
LOCALIDAD :	CALLAO	ORIGEN ID :	159808354
ORIGEN DE LA MUESTRA :	Como se suministra	MUESTREADO POR :	Cliente
TIPO DE MUESTRA :	Tal como fue presentado	RECIBIDO :	25/09/2018
MUESTREADO :	--	COMPLETADO :	26/09/2018
ANALIZADO :	26/09/2018	CANTIDAD :	1 LT
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:	Botella de vidrio		
COMENTARIO MUESTRA :	PUNTO DE MUESTREO: /		

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO UNITS
Gravedad API a 60°F (*)	ASTM D 1298 - 12b (2017)	42.4 °API
Densidad a 15°C	ASTM D 4052 - 18 (2018)	0.8127 g/mL
Destilación a 760mmHg	ASTM D 86 - 17 (2017)	
Punto inicial de ebullición (IBP)		104.0 °C
5% Recuperado a		127.0 °C
10% Recuperado a		151.5 °C
15% Recuperado a		169.0 °C
20% Recuperado a		188.0 °C
25% Recuperado a		204.0 °C
30% Recuperado a		217.5 °C
35% Recuperado a		237.5 °C
40% Recuperado a		250.0 °C
45% Recuperado a		261.5 °C
50% Recuperado a		274.0 °C
55% Recuperado a		284.0 °C
60% Recuperado a		295.0 °C
65% Recuperado a		304.5 °C
70% Recuperado a		315.0 °C

(\*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA, para la matriz en mención.

FIRMA AUTORIZADA

YSABEL C. BABILONIA PINTO  
Supervisora del Laboratorio OGC  
CIP 87792

2609201817070000028929

Página 1 / 2

OGC-ES\_REPORT\_NLOGO-2012-05-05-V48

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Figura 12. Resultados de laboratorio muestra 1





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



FECHA DE IMPRESIÓN: 26/09/2018

SGS Oil, Gas and Chemicals  
Av. Elmer Faucett  
3348, Callao 1  
Perú  
PO Box 27-0125  
t (51-1) 517 1900  
f (51-1) 575 4089  
www.pe.sgs.com

CHAVEZ SALAZAR FREDDY ALEXANDER  
JR. MARCELINO GONZALES NRO 219 CELENDIN

Informe de Ensayo con Valor Oficial: CA1802609.001

CLIENTE ORDEN NO :	665336-1	SGS ORDEN NO :	--
CLIENTE ID :	DIESEL	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO :	Diesel B5
LOCALIDAD :	CALLAO	ORIGEN ID :	159808354
ORIGEN DE LA MUESTRA :	Como se suministra	MUESTREADO POR :	Cliente
TIPO DE MUESTRA :	Tal como fue presentado	RECIBIDO :	25/09/2018
MUESTREADO :	--	COMPLETADO :	26/09/2018
ANALIZADO :	26/09/2018	CANTIDAD :	1 LT
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA :	Botella de vidrio		
COMENTARIO MUESTRA :	PUNTO DE MUESTREO : /		

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO UNITS
75% Recuperado a		325.0 °C
80% Recuperado a		335.5 °C
85% Recuperado a		346.5 °C
90% Recuperado a		358.5 °C
95% Recuperado a		369.0 °C
Punto final de ebullición (FBP)		373.0 °C
% Recuperado		97.5 % v/v
Residuo final		1.5 % v/v
% Perdido		1.0 % v/v
Índice Cetano (Procedimiento A)	ASTM D 4737 - 10 (Reapproved 2016)	59.7 Rating
Punto de Inflamación por PMCC - Procedimiento A	ASTM D 93 - 16a (2016)	<40.0 °C
Viscosidad Cinemática a 40°C	ASTM D 445 - 17a (2017)	2.314 cSt
Agua (*)	ASTM D 6304 - 16e1 (2016) Proc. A	163 ppm

(\*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA, para la matriz en mención.

FIRMA AUTORIZADA

  
YSABEL C. BABILONIA PINTO  
Supervisora del Laboratorio OGC  
CIP 87792

2609201817070000028929

Página 2 / 2

OGC-ES\_REPORT\_NLOGO-2012-05-05-V48

COD. 310 P 18738

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Ultima Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 www.sgs.pe

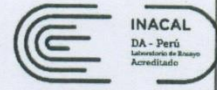
Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Figura 13. Resultados de laboratorio muestra 1





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

FECHA DE IMPRESIÓN: 20/10/2018

SGS Oil, Gas and Chemicals  
Av. Elmer Faucett  
3348, Callao 1  
Perú  
PO Box 27-0125  
t (51-1) 517 1900  
f (51-1) 575 4089  
www.pe.sgs.com

CHAVEZ SALAZAR FREDDY ALEXANDER  
JR. MARCELINO GONZALES NRO 219 CELENDIN

Informe de Ensayo con Valor Oficial: CA1802796.001

CLIENTE ORDEN NO :	665409-1	SGS ORDEN NO.:	-
CLIENTE ID :	DIESEL	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO :	Diesel
LOCALIDAD :	CALLAO	ORIGEN ID :	159853508
ORIGEN DE LA MUESTRA :	Como se suministra	MUESTREADO POR :	Cliente
TIPO DE MUESTRA :	Tal como fue presentado	RECIBIDO :	15/10/2018
MUESTREADO :	05/10/2018	COMPLETADO :	20/10/2018
ANALIZADO :	17/10/2018 - 20/10/2018	CANTIDAD:	1 LT
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:	BOTELLA DE VIDRIO		

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO UNITS
Gravedad API a 60°F	ASTM D 1298 - 12b (2017)	41.3 °API
Densidad a 15°C	ASTM D 4052 - 18 (2018)	0.8183 g/mL
Destilación a 760mmHg	ASTM D 86 - 17 (2017)	
Punto inicial de ebullición (IBP)		111.0 °C
5% Recuperado a		133.0 °C
10% Recuperado a		152.0 °C
15% Recuperado a		171.5 °C
20% Recuperado a		189.0 °C
25% Recuperado a		206.0 °C
30% Recuperado a		221.0 °C
35% Recuperado a		235.5 °C
40% Recuperado a		249.0 °C
45% Recuperado a		261.0 °C
50% Recuperado a		273.5 °C
55% Recuperado a		284.0 °C
60% Recuperado a		294.0 °C
65% Recuperado a		304.0 °C
70% Recuperado a		313.0 °C
75% Recuperado a		322.0 °C

(\*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA, para la matriz en mención.

FIRMA AUTORIZADA



YSABEL C. BABILONIA PINTO  
Supervisora de Laboratorio OGC  
CIP 87792

201020181145000029520

Página 1 / 2

OGC-ES\_REPORT\_NLOGO-2012-05-05-V48

COD. 310 P. 18738

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 | [www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Figura 14. Resultados de laboratorio muestra 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL – DA CON REGISTRO N° LE – 002



Registro N° LE - 002

FECHA DE IMPRESIÓN: 20/10/2018

SGS Oil, Gas and Chemicals  
Av. Elmer Faucett  
3348, Callao 1  
Perú  
PO Box 27-0125  
t (51-1) 517 1900  
f (51-1) 575 4089  
www.pe.sgs.com

CHAVEZ SALAZAR FREDDY ALEXANDER  
JR. MARCELINO GONZALES NRO 219 CELENDIN

Informe de Ensayo con Valor Oficial: CA1802796.001

CLIENTE ORDEN NO :	665409-1	SGS ORDEN NO.:	--
CLIENTE ID :	DIESEL	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO :	Diesel
LOCALIDAD :	CALLAO	ORIGEN ID :	159853508
ORIGEN DE LA MUESTRA :	Como se suministra	MUESTREADO POR :	Cliente
TIPO DE MUESTRA :	Tal como fue presentado	RECIBIDO :	15/10/2018
MUESTREADO :	05/10/2018	COMPLETADO :	20/10/2018
ANALIZADO :	17/10/2018 - 20/10/2018	CANTIDAD:	1 LT
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA:	BOTELLA DE VIDRIO		

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO UNITS
80% Recuperado a		333.0 °C
85% Recuperado a		343.5 °C
90% Recuperado a		350.0 °C
95% Recuperado a		366.0 °C
Punto final de ebullición (FBP)		373.0 °C
% Recuperado		97.5 % v/v
Residuo final		1.5 % v/v
% Perdido (*)		1.0 % v/v
Índice Cetano (Procedimiento A)	ASTM D 4737 - 10 (Reapproved 2016)	57.4 Rating
Punto de Inflamación por PMCC - Procedimiento A	ASTM D 93 - 18	<40.0 °C
Viscosidad Cinemática a 40 °C	ASTM D 445 - 17a (2017)	2.463 cSt
Agua (*)	ASTM D 6304 - 16e1 (2016) Proc. A	103 ppm

(\*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA, para la matriz en mención.

FIRMA AUTORIZADA

  
YSABEL C. BABILONIA PINTO  
Supervisora del Laboratorio OGC  
CIR 87792

201020181145000029520

Página 2 / 2

OGC-ES\_REPORT\_NLOGO-2012-05-05-V48

COD. 310 P 18738

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 | [www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Figura 15. Resultados de laboratorio muestra 2

# **ANEXO 3**



PROPIEDADES	Método ASTM/otro	Especificaciones		Refinería la Pampilla	Refinería Conchán	Refinería Talara	Refinería Iquitos
		Mín	Máx				
APARIENCIA							
Color ASTM				0,5		1,5	
VOLATILIDAD							
Destilación (° C )	ASTM-D86						
Punto Inicial de Ebullición		Reportar		152	173	163	155
10% Recuperado		Reportar		197	237	204	208
50% Recuperado		Reportar		298	298	297	298
90% Recuperado (A)		282	360	348	349	350	350
Punto Final de Ebullición				373	379	379	369
Recuperado % vol		Reportar		98	98	98	97,8
Residuo		Reportar		1,8	1	1,5	1,6
Pérdida		Reportar		0,2	1	0,5	0,6
Gravedad API @ 15,6 °C	ASTM-D1298			33,3	32	34,3	36,4
Punto de Inflamación P.M., °C	ASTM.D93	52		57	67	60	58
FLUIDEZ							
Viscosidad Cinemática @ 37°C	ASTM-D445			3,98		4,3	4,85
Punto de Escurrimiento °C	ASTM-D97		+4	-15		-6	
COMPOSICION							
Índice de Cetano	ASTM-D976	40		49,4	48	51,3	
Cenizas, % masa	ASTM-D48		0,01	0,02		0,004	
Carbono Conradson, % masa	ASTM-D189		0,35	0,01		0,01	
CORROSION							
Lam. Cobre 3 Hrs. @ 100° C	ASTM-D130			3a	3a		
Azufre Total, % masa	ASTM-D129		0,5	0,48	0,15	0,15	
CONTAMINANTES							
Agua y Sedimentos %vol	ASTM-D1796		0,05	0,00		0,02	
ESTABILIDAD							
Estab. a la Oxidac, mg/100ml	ASTM-D2274					0,3	
COMBUSTION							
Poder Calorífico Bruto BTU/lb.	ASTM-D240			19 517,0			

Fuente: (Poma 2004: 40)

**Figura 16.** Calidades típicas de combustible diésel en el Perú

# **ANEXO 4**

## **Norma ASTM**

ASTM o ASTM International es una estructura organizacional de normas internacionales que tiene como misión desarrollar y publicar convenios libres de normas técnicas para una extensa escala de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen por lo menos 12 575 convenios espontáneos de normas de utilidad en la tierra. Las oficinas principales de la organización ASTM international se encuentran en Estados Unidos, Pennsylvania (Normas ASTM (en línea) s. f.).

### **ASTM D6304**

Tener la información del volumen de agua en los aceites lubricantes, aditivos y productos similares es primordial en la fabricación, compra, venta o transferencia de dichos productos petrolíferos para ayudar a pronosticar sus atributos de calidad y productividad (ASTM INTERNATIONAL 2018).

La existencia de humedad en los aceites lubricantes podría llevar a una corrosión y desgaste prematuros, incremento de la carga de residuos que se traduce en una lubricación minimizada y una obstrucción temprana de los filtros, una resistencia en el efecto de los aditivos y un soporte no deseable del aumento bacteriano deletéreo (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **Alcance**

Este procedimiento de ensayo protege la determinación directa de agua en el intervalo de 10 mg/kg a 25000 mg/kg de agua arrastrada en productos petrolíferos e hidrocarburos usando instrumentos automatizados. Este método de prueba además cubre el análisis indirecto de agua removida térmicamente de las muestras y barrido con gas inerte seco en la célula de valoración Karl Fisher. Se conoce que el mercaptano, el sulfuro (S- o H<sub>2</sub>S), el azufre y otros compuestos interrumpen a este método de ensayo (ASTM INTERNATIONAL 2018).

Esta metodología de prueba está propensa a usarse con reactivos coulométricos Karl Fisher comercialmente disponibles y para el establecimiento de agua en aditivos, aceites lubricantes, aceites de base, fluidos de transmisión automática, disolventes de hidrocarburos y otros productos petrolíferos. Mediante la recolección correcta del tamaño de la muestra, esta metodología de examen puede aplicarse para la determinación de agua desde concentraciones de mg/kg a porcentaje (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **ASTM D86**

La metodología de prueba básica para determinar el parámetro de ebullición de un producto petrolífero mediante la realización de una destilación simple en lotes ha estado en uso mientras haya existido la industria del petróleo. Es uno de los procedimientos de ensayo más antiguos bajo la demarcación del Comité D02 de la ASTM, que data del momento en que todavía se conocía como la destilación de Engler. Dado que el método de ensayo ha estado en uso durante un período tan prolongado, existe un gran número de bases de datos históricas para estimar la sensibilidad del uso final en los productos y procesos (ASTM INTERNATIONAL 2018).

Las propiedades de destilación (volatilidad) de los hidrocarburos tienen un resultado preponderante en su seguridad y productividad, en especial en combustibles y disolventes. El parámetro de ebullición facilita información sobre la composición, las propiedades y el comportamiento del combustible durante su almacenamiento y uso. La volatilidad es el principal determinante de la tendencia de una mezcla de hidrocarburos a producir vapores potencialmente explosivos (ASTM INTERNATIONAL 2018).



Las cualidades de la destilación son de interés crítico tanto para las gasolinas de automoción como de aviación, que alteran al arranque, al calentamiento y la inclinación al bloqueo del vapor a elevadas temperaturas de funcionamiento o a altas altitudes o ambas. La existencia de elementos de alto punto de ebullición en estos y otros combustibles puede alterar ampliamente el grado de conformación de almacenes sólidos de combustión (ASTM INTERNATIONAL 2018).

En las indicaciones de los productos petrolíferos, en los contratos comerciales, en las solicitudes de refinación / control de procesos y en el cumplimiento de las normas reglamentarias, por lo general se incluyen los límites de destilación (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **Alcance**

Este método de ensayo cubre la destilación atmosférica de productos derivados del crudo y combustibles líquidos empleando una unidad de destilación discontinua de laboratorio para establecer cuantitativamente las características de intervalo de ebullición de productos tales como destilados ligeros y medios, combustibles para motores de encendido por chispa con o sin compuestos oxigenados, gasolinas de aviación, combustibles para turbinas de aviación, combustibles diésel, mezclas de biodiesel hasta un 20%, combustibles navales, bebidas espirituosas especiales de petróleo, naftas, aguardientes blancos, querosines y combustibles de quemadores de Grados 1 y 2 (ASTM INTERNATIONAL 2018).

El método de ensayo está creado para el estudio de los combustibles destilados; No es atribuible a productos que contengan volúmenes considerables de material residual (ASTM INTERNATIONAL 2018).

## **ASTM D1298**

Es preciso establecer con exactitud a la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), o la gravedad API del petróleo y sus productos derivados para la transformación de los volúmenes medidos a volúmenes o masas, o ambos, a las temperaturas de referencia estándar de 15 °C o 60 °F durante la entrega de custodia (ASTM INTERNATIONAL 2017).

Este proceso es el más idóneo para establecer la densidad, la densidad relativa o la gravedad API de líquidos claros de baja viscosidad. Este procedimiento también puede usarse para líquidos viscosos, teniendo tiempo suficiente para que el densímetro llegue a la temperatura de equilibrio, y para líquidos opacos empleando una adecuada corrección de menisco. Asimismo, para fluidos claros y oscuros, las lecturas se tendrían que corregir por el efecto de expansión térmica del vidrio y los efectos de temperatura de calibración alternativa antes de modificar a la temperatura de referencia (ASTM INTERNATIONAL 2017).

La densidad, la densidad relativa o la gravedad API, son factores que determinan la calidad y el valor monetario del petróleo crudo (ASTM INTERNATIONAL 2017).

### **Alcance**

Este proceso de ensayo contempla el establecimiento en laboratorio, a través de un densímetro de vidrio junto con una serie de cálculos, de la densidad, la densidad relativa, o la gravedad API de petróleo crudo, los productos procedentes del petróleo o las mezclas de petróleo y productos que no son petróleo normalmente manipulados como líquidos, y con una presión de vapor Reid de 101,325 kPa (14,696 psi) o menos. Los resultados se establecen a temperaturas existentes y se modifican a 15 °C o 60 °F utilizando una serie de cálculos y tablas internacionales de estándares (ASTM INTERNATIONAL 2017).

Las lecturas preliminares que se obtienen del densímetro son interpretaciones no corregidas y no mediciones de la densidad. Las lecturas se calculan en un densímetro a la temperatura establecida o a otra temperatura adecuada, y se subsana por el efecto menisco, el efecto de expansión térmica del vidrio, los efectos de temperatura de calibración alternativa, y a la temperatura de referencia por medio de las Petroleum Measurement Tables (Tablas de medición de petróleo); los resultados adquiridos a otras temperaturas que no sean la temperatura de referencia son calores de densímetro, y no mediciones de densidad (ASTM INTERNATIONAL 2017).

Las lecturas establecidas como la densidad, la densidad relativa o la gravedad API pueden transformarse a resultados semejantes en las otras unidades o temperaturas de referencia alternativas por medio de Interconversion Procedures (Procedimientos de interconversión) (Capítulo 11.5 de MPMS de API), o el material adjunto al estándar D1250 Guide for Petroleum Measurement Tables (Guía para tablas de medición de productos de petróleo) (Capítulo 11.1 de MPMS de API), o ambos, o las tablas, según corresponda (ASTM INTERNATIONAL 2017).

### **ASTM D4737**

El índice de cetano calculado por Cuatro Ecuaciones Variables es beneficioso para calcular el índice de cetano ASTM cuando no se tiene un motor de ensayo para establecer esta propiedad directamente y cuando no se emplea un aditivo mejorador de cetano. Cuando una muestra disponible es demasiado pequeña para una clasificación de motor podría utilizarse provechosamente para estimar el número de cetano. En los casos en que se ha establecido anticipadamente el índice de cetano ASTM de un combustible, el índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables es útil como comprobación del número de cetano en lotes subsiguientes de ese combustible,

siempre que la fuente y el modo de producción del combustible se conserven sin alteraciones (ASTM INTERNATIONAL 2016).

Los métodos de prueba D6890 y D7170 suelen usarse para conseguir un número de cetano derivado (DCN) cuando la cantidad de muestra es demasiado pequeña para una prueba del motor. Estos métodos miden el efecto del mejorador de cetano (ASTM INTERNATIONAL 2016).

Dentro del espacio de 32,5 a 56,5 de índice de cetano, el desacierto esperado de predicción del procedimiento A del índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables será inferior a  $\pm 2$  índices de cetano para el 65% de los combustibles destilados evaluados. Los errores pueden ser mayores para los combustibles cuyas propiedades están fuera del rango de aplicación recomendado (ASTM INTERNATIONAL 2016).

### **Alcance**

El índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables otorga un recurso para calcular el índice de cetano ASTM (método de ensayo D613) de los combustibles destilados a partir de las mediciones de la temperatura de recuperación de densidad y destilación. El valor calculado a partir de la ecuación se denomina índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables (ASTM INTERNATIONAL 2016).

El índice de cetano calculado por cuatro ecuaciones variables no es un método opcional para expresar el número de cetano ASTM. Es una herramienta suplementaria para estimar el índice de cetano cuando no se dispone de un resultado según el método de ensayo D613 y no se utiliza un mejorador de cetano. Como instrumento complementario, debe usarse la ecuación del índice de cetano calculado por cuatro variables, teniendo debidamente en cuenta sus restricciones (ASTM INTERNATIONAL 2016).

### **ASTM D93**

La temperatura de flash point es una medición de la inclinación de la probeta a moldear una mezcla inflamable con aire en disposiciones de laboratorio controladas. Es una de diferentes características que deben considerarse al evaluar el peligro general de inflamabilidad de un material (ASTM INTERNATIONAL 2018).

El punto de inflamación se usa en los reglamentos de transporte y seguridad para los materiales inflamables y combustibles. Se debe consultar la regulación particular implicada para las definiciones exactas de estas clasificaciones (ASTM INTERNATIONAL 2018).

Estas metodologías de prueba deben emplearse para medir y describir las características de materiales, productos o conjuntos en respuesta a temperaturas elevadas y a una fuente de ignición en condiciones de laboratorio controladas y no deben emplearse para evaluar el riesgo de incendio o de incendio de materiales, productos o equipos bajo situaciones reales de incendio. No obstante, los resultados de estos métodos de ensayo suelen usarse como elementos de una evaluación del riesgo de incendio que tenga en cuenta todos los factores pertinentes para una evaluación del riesgo de incendio de una utilización final particular (ASTM INTERNATIONAL 2018).

Estos métodos de ensayo proporcionan los únicos procedimientos de prueba de punto de inflamación en taza cerrada para temperaturas de hasta 370 ° C (698 ° F) (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **Alcance**

Esta metodología de prueba cubre el valor del flash point de los productos derivados del petróleo en el rango de temperatura de 40 °C a 370 °C a través de un aparato de vaso cerrado Pensky-Martens manual o un aparato de vaso cerrado Pensky-Martens

automatizado y el establecimiento del flash point del biodiesel en el rango de temperaturas de 60 °C a 190 °C mediante un aparato de vaso cerrado Pensky-Martens automatizado (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **ASTM D445**

Gran cantidad de productos derivados del petróleo y algunos componentes no petrolíferos se emplean como materiales de lubricación y el adecuado funcionamiento del equipo depende de la viscosidad adecuada del combustible o aceite lubricante que se está usando. Así mismo, la viscosidad de bastantes combustibles de petróleo es trascendental para designar las condiciones adecuadas de almacenamiento, manipulación y operación. Por lo tanto, el establecimiento preciso de la viscosidad es fundamental para muchas especificaciones del producto (ASTM INTERNATIONAL 2018).

### **Alcance**

Este método de prueba indica un procedimiento para el establecimiento de la viscosidad cinemática,  $v$ , de derivados petrolíferos líquidos, tanto claros como oscuros, calculando el tiempo para que una cantidad de líquido transite por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica  $\eta$  puede obtenerse multiplicando la densidad  $\rho$  del líquido por la viscosidad cinemática  $v$  (ASTM INTERNATIONAL 2018).

El resultado obtenido a partir de este método de ensayo depende del comportamiento de la muestra y está destinado a la aplicación a líquidos en los que la tensión de corte y las velocidades de cizallamiento son principalmente proporcionales (comportamiento de flujo newtoniano). Sin embargo, si la viscosidad cambia elocuentemente con la velocidad de cizallamiento, pueden obtenerse resultados diferentes a partir de viscosímetros de diferentes diámetros capilares. Se han incluido

el procedimiento y los valores de precisión para los fuelóleos residuales que, en algunas condiciones, presentan un comportamiento no newtoniano (ASTM INTERNATIONAL 2018).

El rango de viscosidades cinemáticas cubiertas por este método de ensayo es de 0,2 mm<sup>2</sup>/s a 300 000 mm<sup>2</sup>/s. La precisión sólo se ha determinado para aquellos materiales, rangos de viscosidad cinemática y temperaturas como se muestra en las notas al pie de la sección de precisión (ASTM INTERNATIONAL 2018).

Los valores indicados en unidades del Sistema Internacional deben considerarse como estándar. La unidad de Sistema Internacional usada en este método de examen para la viscosidad cinemática es mm<sup>2</sup>/s, y la unidad utilizada en este método de ensayo para la viscosidad dinámica es mPa·s. Para referencia del usuario, 1 mm<sup>2</sup>/s = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s = 1 cSt y 1 mPa.s = 1 cP = 0,001 Pa (ASTM INTERNATIONAL 2018).

# **ANEXO 5**





**Figura 17.**Prototipo de destilador artesanal



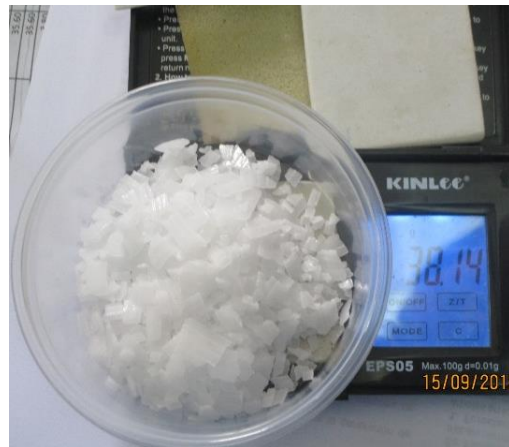
**Figura 18.** Medida de la muestra para el primer destilado



**Figura 19.** Resultado del primer destilado



**Figura 20.** Masa del primer destilado



**Figura 21.** Masa de Hidróxido de Sodio para el primer redestilado



**Figura 22.** Resultado primer redestilado



**Figura 23.** Recolección y destilación de la segunda muestra



**Figura 24.** Resultado segundo destilado



**Figura 25.** Masa del segundo destilado





**Figura 26.** Masa del Hidróxido de Sodio para el segundo destilado



**Figura 27.** Volumen del segundo redestilado



**Figura 28.** Cambios de aceite automotriz en la vía pública