

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETROQUIMICA



### TESIS

## EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL DESTILADO AL VACÍO DE ACEITE LUBRICANTE USADO

Presentado por:

- Br. Keren Orosco Peceros
- Br. Dax Alexander Valenzuela Nina

Para optar al título profesional de Ingeniero  
Petroquímico.

Asesor:

- Mg. Julio Washington Lechuga Canal

CUSCO – PERÚ  
2023

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado:.....  
Evaluación del rendimiento y calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado  
presentado por: Keren Orosco Peceros y Dax Alexander Valenzuela Nina  
con Nro. de DNI: 72893360 y 73956485, para optar el título profesional/grado académico  
de Ingeniero Petroquímico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1%

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 25 de setiembre de 2023

  
.....  
Firma  
Post firma Washington Julio Lechuga Canal  
Nro. de DNI 23801349  
ORCID del Asesor 0000-0003-1967-1720

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:269294791

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN RENDIMIENTO Y CALIDAD  
DEL DESTILADO AL VACÍO DE ACEITE LU  
BRICANTE USADO** Orozco Peceros -

AUTOR

**Orozco Peceros - Valenzuela Ni**

RECUENTO DE PALABRAS

**21798 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**118574 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**125 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**6.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 25, 2023 12:18 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 25, 2023 12:20 PM GMT-5**

### ● 1% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

## Dedicatorias

*A Juana Peceros y Sixto Orosco; mis adorados padres, que fueron paz en la tormenta y luz en medio de la oscuridad, quienes me ofrecen una mano firme a la que puedo aferrarme en tiempos de adversidad, que a pesar de todo siempre se esforzaron para sacarme adelante.*

*A mi querido hermano, que anda en el cielo, no hace mucho tiempo, y que aún sin estar... siempre está...*

*Y a mi pequeño Kronos, que fue un compañero en la soledad, y cuando necesité una mano una pata leal siempre estuvo ahí 🐾, porque los perritos también te salvan...*

**Keren Orosco Peceros**

*A mis queridos padres Carmen Nina y Alfredo Valenzuela, por su sacrificio y esfuerzo para ayudarme a cumplir este anhelado objetivo, quienes aun habiendo dificultades en el camino siempre me brindan su cariño y comprensión.*

*A mis queridos abuelos Zenaida Rojas y Manuel Valenzuela, que siempre quisieron verme cumplir este gran objetivo, si bien ya no se encuentran conmigo sé que me observan con una gran sonrisa desde el cielo en este momento.*

**Dax Alexander Valenzuela Nina**

## **Agradecimientos**

*A Dios por la vida; a mis padres por su apoyo incondicional, a mi hermano quien siempre creyó en mí, a mi hermana y la pequeña Nina que, aunque estén al otro lado del mundo están orgullosas de mí.*

*Mi total gratitud a las personas que fueron parte de este importante escalón en mi vida.*

*A mis docentes que fueron parte de mi formación académica; en especial a mi asesor que nos brindó su carisma, experiencia y conocimiento para que este trabajo sea una realidad.*

*Y a mi compañero de tesis por la paciencia y buen humor, claro que las risas no faltaron, y ojalá podamos seguir siendo grandes amigos por muchos años más.*

### **Keren Orosco Peceros**

*A Dios por la gran familia que me dio, a mis padres por su apoyo y a mi hermana por siempre creer que lograre todas mis metas y sueños.*

*A todos mis familiares que me reciben con una gran sonrisa cuando nos encontramos y me dan ánimos para seguir adelante.*

*A mis docentes que me brindaron todo su conocimiento para mi formación profesional; en especial a mi asesor quien siempre estuvo dispuesto a brindarnos todo su apoyo para lograr este trabajo.*

*A mis amigos que conocí en la universidad y el trabajo, por siempre motivarme y estar pendientes de que logré este objetivo.*

*A mi compañera de tesis por su paciencia y dedicación durante este largo camino para realizar este trabajo, gracias por siempre buscar soluciones a los problemas que se tuvo y así lograr este gran objetivo.*

### **Dax Alexander Valenzuela Nina**

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad recuperar la base lubricante presente en los aceites lubricantes usados (ALU) mediante el proceso de destilación al vacío, ya que, los ALU al ser desechados sin previo tratamiento provocan severos daños ambientales y afecta a la salud pública debido a su contenido de hidrocarburos y metales pesados, por ello se trazó como objetivo general evaluar la efectividad del proceso de destilación al vacío de los aceites lubricantes usados en el rendimiento y como objetivos específicos evaluar la influencia de la presión y temperatura sobre el rendimiento, para posteriormente evaluar las propiedades físicas básicas del destilado del aceite lubricante usado.

Para realizar el proyecto de investigación se tomó muestras de ALU de diferentes lubricantes de la ciudad del Cusco, los cuales fueron homogenizados y puestos en reposo durante 24 horas, posterior a este paso se procedió a destilar muestras de 100 ml de ALU a presiones de 48.54mmHg, 68.54mmHg y 88.53mmHg y se observó el comportamiento a cortes de temperaturas de 350 °C , 365 °C y 380 °C , logrando recuperar la base lubricante presente en los ALU con un rendimiento total que oscila entre los 86% – 90%, adicionalmente se procedió a analizar sus propiedades físico-químicas empleando equipos de análisis de hidrocarburos, de los cuales se obtuvo datos dentro los rangos establecidos por las normas internacionales.

Posteriormente se evaluó la influencia de las variables entrada sobre las variables de respuesta mediante un análisis de varianza, de esta forma se logró determinar que la temperatura tiene mayor influencia en la cantidad recuperada de base lubricante; asimismo, se determinó que realizando la destilación a una presión de menor vacío se obtiene mayor cantidad de aceite base y las propiedades de la base lubricante recuperada se asemejan a una base lubricante nueva SN150.

*Palabras clave: Aceite lubricante usado (ALU), destilación al vacío, curvas ASTM, aceite base.*

## Abstract

The purpose of this research work is to recover the lubricant base present in used lubricating oils by means of the vacuum distillation process, since used lubricating oils, when discarded without prior treatment, cause severe environmental damage and affect public health due to their hydrocarbon and heavy metal content, Therefore, the objective was to recover the lubricant bases present in used lubricating oils and to evaluate the relationship between the degree of purification and the effectiveness of the vacuum distillation process based on pressure and temperature, in order to subsequently determine the similarity of the basic physical properties between the recovered lubricant base and a new lubricant base.

To carry out the research project, ALU samples were taken from different lubrication centers in the city of Cusco, which were homogenized and put at rest for 24 hours. After this step, 100 ml samples of ALU were distilled at pressures of 48.54 mmHg, 68.54mmHg and 88.53mmHg and the behavior was observed at temperature cuts of 350 °C, 365 °C and 380 °C, managing to recover the lubricant base present in the ALU with a total yield that oscillates between 86% - 90%, additionally We proceeded to analyze its physical-chemical properties using hydrocarbon analysis equipment, from which data was obtained within the ranges established by international standards.

Subsequently, the influence of the input variables on the response variables was evaluated through an analysis of variance, in this way it was possible to determine that the temperature has a greater influence on the amount of lubricant base recovered; Likewise, it was determined that performing the distillation at a lower vacuum pressure, a greater amount of base oil is obtained and the properties of the recovered base oil are similar to a new SN150 base oil.



*Key words: Waste lubricating oil (ALU), vacuum distillation, ASTM Curves, Base Oil.*

## Tabla de contenido

Resumen .....	iii
Abstract .....	v
Tabla de contenido.....	vii
Lista de figuras .....	ix
Lista de tablas .....	xi
Nomenclatura .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problema específico.....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
1.5. Hipótesis.....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes .....	7
2.2. Base Lubricante .....	12
2.3. Aceites Lubricantes.....	12
2.3.1. Clasificación .....	13
a) Según su origen.....	13
b) Según el grado .....	13
c) Según su clasificación técnica.....	14
2.3.2. Aditivos y funciones .....	16
2.3.3. Propiedades de los Aceites Lubricantes.....	19
2.4. Aceites Lubricantes Usados (ALU).....	22
2.4.1. Propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes usados.....	23
2.4.2. Contaminantes de los aceites lubricantes usados.....	23
2.4.3. Posibles usos de los aceites lubricantes usados.....	25
2.5. Procesos de destilación.....	26
2.5.1. Destilación atmosférica.....	26
2.5.2. Destilación al vacío .....	27
2.5.3. Curva de destilación ASTM.....	29
2.5.4. Rendimiento .....	30
2.6. Disposición final y reciclado de los aceites lubricantes en la ciudad de cusco. ....	30
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
3.1. Muestra.....	32
3.2. Materiales y equipos .....	32

<b>3.3. Procedimiento .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.1. Recolección de la muestra .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2. Preparación de la muestra .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.3. Caracterización de la muestra de aceite lubricante usado .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.4. Proceso de destilación .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.5. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del destilado al vacío. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.6. Parámetros del proceso de destilación.....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Caracterización de la muestra .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2. Proceso de destilación al vacío .....</b>	<b>41</b>
<b>a) Destilación a presión de vacío 48.54 mmHg .....</b>	<b>42</b>
<b>b) Destilación a presión de vacío 68.54 mmHg .....</b>	<b>44</b>
<b>c) Destilación a presión de vacío 88.53 mmHg .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3. Balance de materia .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del aceite base recuperado .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2. Análisis estadístico de la influencia de la presión de vacío y temperatura en el         rendimiento.....</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>
<b>APENDICE .....</b>	<b>109</b>
<b>Apendice 1: Matriz de consistencia .....</b>	<b>109</b>
<b>Apendice 2: Matriz de operacionalización de variables .....</b>	<b>109</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b>	Viscosidad según SAE J300 .....	14
<b>Figura 2</b>	Interpretación de las siglas según SAE.....	15
<b>Figura 3</b>	Clasificación según API .....	16
<b>Figura 4</b>	Composición general de un aceite lubricante .....	19
<b>Figura 5</b>	Uso de los ALU.....	26
<b>Figura 6</b>	Ejemplos de destilación atmosférica y de vacío .....	28
<b>Figura 7</b>	Esquema de curva de destilación ASTM .....	29
<b>Figura 8</b>	Listado de lubricentros formales en la ciudad del Cusco.....	31
<b>Figura 9</b>	Envases con muestras de aceite lubricante usado .....	34
<b>Figura 10</b>	Filtración de la muestra.....	34
<b>Figura 11</b>	Diagrama de bloques de la metodología.....	39
<b>Figura 12</b>	Esquema del equipo de destilación al vacío ASTM D1160.....	40
<b>Figura 13</b>	Curva ASTM – Presión de vacío 48.54 mmHg.....	43
<b>Figura 14</b>	Curva ASTM – Presión de vacío 58.54 mmHg.....	45
<b>Figura 15</b>	Curva ASTM – Presión de vacío 88.53 mmHg.....	47
<b>Figura 16</b>	Rendimiento – condiciones de operación .....	48
<b>Figura 17</b>	Diagrama de bloques - P1= 48.54mmHg .....	49
<b>Figura 18</b>	Diagrama de bloques - P1= 68.54mmHg .....	49
<b>Figura 19</b>	Diagrama de bloques - P1= 88.53mmHg .....	50
<b>Figura 20</b>	Gráfico de contenido de agua .....	54
<b>Figura 21</b>	Viscosidad Dinámica (40°C) .....	56
<b>Figura 22</b>	Viscosidad Dinámica (100°C) .....	57
<b>Figura 23</b>	Viscosidad Cinemática (40°C) .....	57
<b>Figura 24</b>	Viscosidad Cinemática (100°C) .....	58
<b>Figura 25</b>	Gama de colores obtenidos en el destilado al vacío.....	60
<b>Figura 26</b>	Comportamiento del color según la presión .....	61
<b>Figura 27</b>	Gráfica de columnas – Contenido de metales .....	63
<b>Figura 28</b>	Región de aceptación y región de rechazo en función al F y F crítico.....	68
<b>Figura 29</b>	Diagrama de Pareto – Temperatura vs Presión .....	69
<b>Figura 30</b>	Gráficas de superficie - Influencia de la presión y temperatura. ....	70

<b>Figura 31</b>	Gráficas de interacción Presión – Rendimiento.....	71
<b>Figura 32</b>	Gráficas de interacción Temperatura – Rendimiento.....	72
<b>Figura 33</b>	Diagrama de Pareto – Índice de viscosidad .....	73
<b>Figura 34</b>	Gráfica de superficie - Índice de viscosidad .....	74
<b>Figura 35</b>	Diagrama de Pareto – Viscosidad Dinámica .....	75
<b>Figura 36</b>	Gráfica de superficie - Viscosidad Dinámica .....	76
<b>Figura 37</b>	Diagrama de Pareto – Viscosidad Cinemática .....	77
<b>Figura 38</b>	Gráfica de superficie - Viscosidad Cinemática .....	78
<b>Figura 39</b>	Diagrama de Pareto – Color ASTM .....	79
<b>Figura 40</b>	Gráfico de superficie - Color ASTM.....	80
<b>Figura 41</b>	Diagrama de Pareto – Contenido de agua .....	81
<b>Figura 42</b>	Gráfica de superficie – Contenido de agua .....	82
<b>Figura 43</b>	Diagrama de Pareto – Gravedad API .....	83
<b>Figura 44</b>	Gráfica de superficie - Gravedad API .....	84

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de la viscosidad según ISO .....	20
<b>Tabla 2</b>	Propiedades fisicoquímicas de los lubricantes usados .....	23
<b>Tabla 3</b>	Contaminantes presentes en los ALU .....	25
<b>Tabla 4</b>	Lugares de recolección de muestras de aceite lubricante usado.....	33
<b>Tabla 6</b>	Rangos máximos y mínimos de operación.....	36
<b>Tabla 7</b>	Número de pruebas (Presión - Temperatura).....	36
<b>Tabla 7</b>	Propiedades de la muestra preparada de aceite lubricante usado .....	41
<b>Tabla 8</b>	Datos obtenidos de la destilación a 48.54 mmHg.....	42
<b>Tabla 9</b>	Datos obtenidos de la destilación a 68.54 mmHg.....	44
<b>Tabla 10</b>	Datos obtenidos de la destilación a 88.53 mmHg.....	46
<b>Tabla 11</b>	Datos de entrada y salida para el balance de materia. ....	50
<b>Tabla 12</b>	Balance de materia.....	52
<b>Tabla 13</b>	Porcentaje de humedad presentes en las muestras. ....	53
<b>Tabla 14</b>	Tabla resumen de promedios del contenido de humedad .....	54
<b>Tabla 15</b>	Datos de viscosidad a 40°C .....	55
<b>Tabla 16</b>	Datos de viscosidad a 100°C .....	55
<b>Tabla 17</b>	Tabla resumen de viscosidades a 40°C y 100°C .....	56
<b>Tabla 18</b>	Valores de color ASTM para cada prueba.....	59
<b>Tabla 19</b>	Contenido de metales en el residual .....	62
<b>Tabla 20</b>	Tabla comparativa (Aceite base recuperado – Aceite base nuevo) .....	64
<b>Tabla 21</b>	Rendimiento total obtenido a distintas presiones.....	65
<b>Tabla 22</b>	Rendimiento parcial obtenido a distintos rangos de temperatura .....	66
<b>Tabla 23</b>	Promedio de rendimiento en base a las presiones y temperaturas.....	66
<b>Tabla 24</b>	Estadísticas de la regresión.....	67
<b>Tabla 25</b>	Datos de análisis de varianza.....	67
<b>Tabla 26</b>	Datos de intercepción.....	68
<b>Tabla 27</b>	Análisis de varianza – Índice de viscosidad .....	73
<b>Tabla 28</b>	Análisis de varianza – Viscosidad dinámica.....	75
<b>Tabla 29</b>	Análisis de varianza – Viscosidad cinemática.....	77
<b>Tabla 30</b>	Análisis de varianza – Color ASTM .....	79

<b>Tabla 31</b> Análisis de varianza – Contenido de agua.....	81
<b>Tabla 32</b> Análisis de varianza – Gravedad API.....	83

**Lista de anexos**

Anexo 1: Karl Fischer tritador/cou-lo aquamax kf moisture meter.....	93
Anexo 2: Stabinger Viscometer – ANTOON PAR SVM 3000 .....	93
Anexo 3: Petrotest PMA-4 -ASTM D93 .....	94
Anexo 4: Equipo de destilación al vacío ASTM D1160 – BR INSTRUMENTS.....	94
Anexo 5: Equipo de difracción de rayos X – OLYMPUS .....	95
Anexo 6: Balanza de alta precisión PR Series - OHAUS.....	95
Anexo 7: Proceso de destilación al vacío.....	96
Anexo 8: Determinación del porcentaje de agua .....	96
Anexo 9: Determinación de la viscosidad.....	97
Anexo 10: Homogenización de las muestras.....	97
Anexo 11: Aplicaciones de aditivos según el tipo de fluidos .....	98
Anexo 12: Campos de aplicación de las bases sintéticas.....	99
Anexo 13: Composición y propiedades de aditivos .....	100
Anexo 14: Características SAE 15W-40.....	101
Anexo 15: Características SAE 20W-50.....	102
Anexo 16: Características SAE 25W-60.....	103
Anexo 17: Características SAE 5W-30.....	104
Anexo 18: Características de base lubricante de refinería .....	105
Anexo 19: Escala de color ASTM D1500 .....	106
Anexo 20: Propiedades fisicoquímicas de n-alcanos y cicloalcanos .....	107
Anexo 21: Propiedades físicas de compuestos aromáticos .....	108



## Nomenclatura

ALU: Aceite lubricante usado

ASTM: American Society for Testing Materials

SAE: Society Of Automotive Engineers

NTP: Norma Técnica Peruana

API: American Petroleum Institute

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Los aceites lubricantes desempeñan un rol importante en el funcionamiento del parque automotor, ya que ayudan a reducir la fricción y el desgaste de las partes metálicas del motor alargando su vida útil; sin embargo, cuando estos aceites lubricantes llegan a su etapa final de uso se convierten en aceites lubricantes usados, dando origen a una problemática de gestión de manejo para su disposición final.

En la provincia de Cusco, se tiene la información de que cada taller genera y almacena aproximadamente un cilindro diario de aceite lubricante usado, lo cual hace un estimado de 208 litros por día, haciendo un total de 6240 litros por mes, sin embargo solo en la ciudad del Cusco existen alrededor de 50 establecimientos de cambio de aceite entre formales e informales, sin contar a las concesionarias que brindan servicio de mantenimiento a los vehículos de sus propias marcas; en general, dichos establecimientos disponen sus desechos de la siguiente manera; el 40% son desechados al suelo, el 24% al alcantarillado y la diferencia es vendida a algunas empresas que recolectan estos desechos para su posterior tratamiento (Gonzales Bellido, 2018).

Estos aceites lubricantes usados son catalogados como un desecho tóxico que afecta al medio ambiente y a la salud pública debido a su contenido de metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y aditivos químicos los cuales al ser liberados en el suelo y agua causan daños irreparables en los ecosistemas naturales y recursos hídricos, además la quema inapropiada de estos genera emisiones de gases nocivos y partículas finas que contribuye a la contaminación atmosférica y afecta la calidad de aire que respiramos.

El contacto con estos desechos provoca daños al sistema respiratorio, a la piel e inclusive puede provocar efectos carcinógenos a largo plazo y constante exposición, por lo que se

recomienda una indumentaria adecuada para el manejo, sin embargo, los trabajadores de estos establecimientos no cuentan con la protección adecuada lo cual los hace susceptibles a contraer algún tipo de enfermedad antes mencionada.

En la ciudad de Cusco pese a la relevancia de plantear esta problemática existe una falta de conciencia y regulación en cuanto a la gestión adecuada de estos los aceites lubricantes usados, la disposición final inapropiada y la falta de infraestructura para el reciclaje y tratamiento de estos, ha provocado una situación alarmante. Por ello es necesario implementar medidas sólidas frente a esta problemática y proponer de manera oportuna políticas eficientes que puedan promover el reciclaje, recolección y la correcta disposición de los aceites lubricantes usados, y no solo normativas que recomienden su manejo como una opción.

Por ello, el objetivo del presente trabajo es recuperar las bases lubricantes presentes en los ALU mediante el proceso de destilación al vacío y de esta forma buscar el reaprovechamiento de estos desechos con el propósito de darles un nuevo uso con una misma función, y contribuir a la disminución de la de contaminación y el impacto que provoca en el ambiente.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el proceso de lubricación de motores de combustión interna el aceite lubricante sufre un desgaste de sus bases minerales y sintéticas que lo componen; el cual lleva a este a ser desechado por su alto contenido de metales pesados, su aspecto oscuro por las partículas suspendidas, el hollín generado por la combustión interna y el agotamiento de los aditivos químicos presentes en el lubricante (Morán Robles, 2017). Al ser desechado o comercializado sin previo tratamiento este representa un riesgo para el medio ambiente, afectando a los suelos y cuerpos acuíferos, ya que al ser clasificado como un hidrocarburo pesado y sustancia peligrosa posee mayor tiempo de residencia en la superficie donde es vertida, así mismo los hidrocarburos son catalogados como sustancias acumulables en el medio e inducen a la fragmentación de suelos, provocando la disminución en la estructura vegetal y alteraciones en la microbiota (Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar, 2017).

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

- ¿Cuál es el rendimiento y la calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado?

### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO**

- ¿Cuáles son las características del aceite lubricante usado sometido a filtración?
- ¿Cuál es el efecto de la presión y temperatura sobre el rendimiento y calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado?
- ¿Cuáles son las condiciones de presión y temperatura que logran el mejor rendimiento y calidad de la base lubricante?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se realiza con la finalidad de recuperar las bases lubricantes presentes en los aceites lubricantes usados, puesto que al no estar sometidos a condiciones de craqueo térmico estas aún mantienen su estructura interna casi intacta, la base lubricante está conformada por cadenas de hidrocarburos que contienen entre 15 y 30 átomos de carbono por molécula, sin embargo tras un periodo de tiempo de uso estos pierden sus propiedades lubricantes debido al calor producido por la fricción entre las piezas metálicas del motor de combustión interna sin producir la ruptura de las cadenas de hidrocarburos presentes en el lubricante, lo cual nos direcciona a la posibilidad de recuperar la base lubricante por distintos métodos y posteriormente ser reutilizada.

Actualmente los lubricantes comerciales contienen aproximadamente un 15% de bases regeneradas, por lo cual el aceite lubricante usado podría re aprovecharse para el uso de parque automotor en el país (Sanz Tejedor, 2013).

Desde un punto de vista medioambiental los aceites lubricantes usados poseen una serie de hidrocarburos que no son biodegradables, asimismo contienen metales pesados como el plomo, cadmio, etc. y sustancias tóxicas como los PHA's (compuestos aromáticos policíclicos) y PCB's (policlorobifenilos) que es un importante aditivo en los aceites lubricantes y se mantienen aún después de que el aceite fue usado, al ser estos vertidos en los talleres automotrices provocan un daño severo al suelo puesto que estos no tiene un normativa de seguridad obligatoria para la adecuada disposición de estos desechos tóxicos. Sin embargo, es importante destacar que actualmente existen cinco normativas técnicas peruanas en materia de gestión ambiental las cuales permiten abordar aspectos técnicos para la correcta manipulación de estos aceites lubricantes usados, tales como:

- NTP 900.050 (2022) – Manejo de aceite usados; Generalidades. (INACAL, 2014)

- NTP 900.051 (2019) – Manejo de aceites usados; generación, recolección y almacenamiento (INACAL, 2019)
- NTP 900.052 (2019) – Manejo de aceites usados; Transporte (INACAL, 2019)
- NTP 900.053 (2019) – Manejo de aceites usados, Re-refinación (INACAL, 2019)
- NTP 900.054 (2012) – Aprovechamiento energético previo al tratamiento de aceites usados (INACAL, 2012)

Las normativas dan especificaciones y características que permitirán dar un tratamiento para su reutilización y la reducción del impacto ambiental que estos provocan.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el rendimiento y la calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado

##### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las características del aceite lubricante usado sometido a filtración.
- Evaluar el efecto de la presión y temperatura en el rendimiento y calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado
- Determinar las condiciones de presión y temperatura que logran el mejor rendimiento y calidad de la base lubricante.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

- La presión y temperatura ejerce efecto significativo en el rendimiento y calidad del lubricante obtenido por destilación al vacío

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

- Vélez Ponce, M. V. (2020). *Análisis de concentración de Fe, Cu y Al por espectroscopía de absorción atómica a la llama en el hidrocarburo combustible obtenido por destilación simple del aceite gastado lubricante automotriz 20W50* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Esta investigación trata de dar una posible solución a la problemática ambiental que causa la mala disposición de los aceites lubricantes usados en Ecuador, teniendo como objetivo estudiar los metales presentes en el hidrocarburo obtenido de la destilación simple de aceites lubricantes usados utilizando espectroscopia de absorción atómica. Para realizar este estudio se recolectó aceites lubricantes usados de dos ciudades una a nivel del mar y otra cerca de los 3000 m.s.n.m. dichas muestras se dejaron varios días en reposo para que sedimenten las partículas suspendidas presentes en el ALU, posterior a este proceso se realizó la destilación simple a temperaturas de 275 °C obteniendo un condensado con características similares al Diesel el cual se procedió a analizar para determinar la cantidad de metales presentes, los resultados mostraron que la muestra tomada en la ciudad de Lacatunga a 3000 m.s.n.m contiene un valor cercano a 0 mg/kg de metales mientras que en la muestra tomada al nivel de mar es cercano a 20 mg/kg de metales como hierro, cobre y aluminio. Se llegó a la conclusión de que se logró realizar una propuesta ambiental para la disposición de los aceites lubricantes usados en Ecuador.
- Saleem H. J. & Karim A. R..(2019). Re-refining of used lubricating oil by vacuum distillation/thin wiped film evaporation technique. *Petroleum Science and Technology*, 38(4), pp 323-330; Esta investigación trata de dar una alternativa de solución a la creciente demanda de conservación de los recursos naturales, la conservación de la



energía y el medio ambiente, tiene como objetivo re-refinar los aceites lubricantes usados de base SN- 150 y SN-200 utilizando el método de destilación al vacío/ técnica de thin wiped film, la metodología aplicada consiste inicialmente en la deshidratación a una temperatura de 240°C a presión atmosférica para eliminar el agua y destilados ligeros y recolectando un volumen del 8.6%, luego el gasóleo se separó del residuo de la unidad de destilación atmosférica mediante destilación al vacío a una temperatura de 240°C con un vacío de 80 mmHg y se recolectó un volumen del 4.3%, posterior a esto los aceites base se destilaron a una temperatura de 320- 360 °C y a una presión de 80 mmHg, obteniéndose un 54% de volumen de aceite base refinado el cual se trata con arcilla activa para eliminar las impurezas aún presentes, finalmente este es filtrado mediante un filtro de prensa para eliminar las impurezas sólidas. Se llegó a la conclusión que la técnica de destilación al vacío/evaporación thin wiped film (VDTWF) es un proceso útil para producir aceites base, grado SN-150 y SN-200 a partir de aceite lubricante usado local en Irak. Los aceites base producidos son todos API tipo I ya que su contenido de azufre es superior al 0,03% en peso, el contenido saturado es inferior al 90% en peso y el índice de viscosidad está entre 80-120, la cantidad de metales se reduce drásticamente y el proceso ácido arcilla ayuda a mejorar el color.

- Muna, K., Tagreed H. & Hader A. A. (2017). Using vacuum distillation technique to treat waste lubricating oil and evaluation its efficiency by chromatographic methods, *Journal of Al-Nahrain University*, 20(2), pp.17-24; La problemática que provoca la disposición final de los aceites lubricantes usados ha tenido como consecuencias graves problemas ambientales, razón por la cual se trazó como objetivo la propuesta de la destilación al vacío como alternativa para reutilizar el aceite lubricante usado, la metodología empleada consiste en recolectar el ALU y dejar sedimentar durante 24 horas,

posteriormente se filtró la capa superior y fue llevado al balón de destilación donde se inició el calentamiento empleando un vacío de 5 mmHg a una temperatura de 120 – 350 °C, dejando el residuo en el matraz para su posterior análisis, determinando el cambio de la composición química del aceite lubricante usado en comparación al aceite lubricante nuevo y el gasóleo utilizando la técnica de cromatografía de gases. Se llegó a la conclusión de que el tratamiento de aceites lubricantes usados mediante destilación al vacío es eficaz para eliminar las impurezas y producir compuestos de hidrocarburos similares a los gasóleos y que este se emplea para producir un aceite base o combustible.

- Jonidi Jafari, A. & Hassanpour M. (2015). Analysis and comparison of used lubricants, regenerative technologies in the world, *Resources, Conservation and Recycling*, 103(), pp 179-191. Esta investigación busca dar solución a la problemática ambiental que causan los aceites lubricantes usados, tiene como objetivo analizar y comparar las diferentes tecnologías existentes para la regeneración de los aceites usados tales como: proceso ácido/ arcilla, proceso de destilación, proceso de desasfaltado con disolvente y procesos operativos para regenerar aceites como: ácido/arcilla, proceso de destilación, desasfaltado con solventes, TFE (Thin film evaporation) con acabado hidráulico y TFE (Thin film evaporation) con acabado de arcilla, TFE (Thin film evaporation) con acabado solvente, TDA (thermal de-asphalting) con acabado en arcilla. Llegando a la conclusión que la disposición física y el diseño de las unidades de operación en una industria dependen de la calidad del aceite producto y la concentración de contaminantes disponibles en el aceite usado. Las tecnologías regenerativas utilizadas para la recuperación de lubricantes usados son procesos costosos. Sin embargo, los puntos a favor incluyen la disminución de los niveles de residuos peligrosos y la idéntica calidad del aceite obtenido con la del crudo.

- S Salem, S., Salem, A. & Agha Babaei, A. (2014) Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 23(), pp 154-162. esta investigación trata de dar una solución a la problemática ambiental y mitigar los daños a la salud que causan la mala disposición final que se da a los aceites lubricantes en Irán, propone utilizar bentonita de calcio nanoporosa iraní en el proceso de regeneración de aceites lubricantes usados específicamente en el proceso de tratamiento con arcilla, previo a realizar este proceso se acondiciona el aceite lubricantes usado utilizando procesos de sedimentación por gravedad, deshidratación y eliminación de compuestos más volátiles presentes en el aceite lubricantes usado mediante destilación atmosférica y finalmente el proceso de filtración del aceite lubricante, una vez concluido este acondicionamiento se realiza el proceso de tratamiento con arcilla en donde se utilizó la bentonita de calcio iraní la cual es combinada con  $\text{HNO}_3$  Y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , logrando obtener un aceite lubricante regenerado de mejor aspecto en el color, llegando a la conclusión de que si es posible utilizar la bentonita de calcio iraní en el proceso de regeneración de aceites lubricantes específicamente en el proceso de ácido arcilla.
- Eman A. & Abeer M. S. (2013) Re-refining of used lube oil, i- by solvent extraction and vacuum distillation followed by hydrotreating, *Petroleum & Coal* 55 (3), pp 179-187. Mencionan la historia del reciclaje del aceite lubricante usado y los distintos esfuerzos de la humanidad durante más de cuatro décadas por intentar reducir el impacto que estos generan al ser desechados sin ningún tratamiento previo o empleados directamente en hornos quemadores; como objetivo se propone la destilación al vacío seguida de hidrotratamiento para un óptimo reciclaje de aceite; de forma similar se considera como una técnica eficaz el cual consiste en la deshidratación previa mediante la destilación

atmosférica sin embargo también menciona que este paso puede reemplazarse por la extracción con solventes, posteriormente el residuo obtenido pasará a la unidad de destilación al vacío a una temperatura de 310 °C a una presión de 15 mmHg, durante este paso la destilación al vacío producirá un residuo y al menos una fracción de destilado de aceite base el cual será enviado directamente al hidrot ratamiento a una temperatura entre 270°C – 320°C el cual consta de un reactor de lecho percolado de Ni/Mo soportado en una base de sílice de alúmina para eliminar los contaminantes aún presentes en el aceite base obtenido de la destilación al vacío, concluyendo que el proceso destiló eficazmente el aceite lubricante usado con un 84% de rendimiento y obteniendo 84% de saturados, 14% de aromáticos y 2% de residuos.

- Luther R. & Mang T. (2012), *Lubricants*, 10. Disposal, Recycling and Safety Aspects. *Fuchs Petrolub AG, Mannheim, Germany*, 21(10), pp 583-589. Esta investigación plantea la problemática que tiene en Europa Occidental con el destino de los aceites lubricantes usados donde solo se puede recolectar el 49%, sin embargo solo el 28% se recoge realmente, teniendo un gran excedente que no presenta ningún plan de disposición final, frente a esta problemática se planteó los objetivos de la recolección intensiva de aceite y mejorar la compatibilidad ambiental de los lubricantes, por lo cual, se propuso una serie de procesos como la re-refinación mediante la separación de impurezas, separación de partes volátiles mediante destilación atmosférica, separación de aditivos y subproductos en la refinación ácida y extracción con solvente (propano), extracción con propano, tratamiento con ácido sulfúrico, tecnología Mohawk, entre otros mencionados en el artículo, obteniendo la conclusión de que la mejor alternativa de reciclaje de aceite lubricante usado es la extracción con propano obteniendo un 94% de rendimiento frente a la destilación atmosférica la cual alcanza un rendimiento máximo del 79%, sin embargo

se menciona que se podría emplear la destilación al vacío para obtener un mejor rendimiento.

## **2.2. BASE LUBRICANTE**

La base lubricante es denominada como una sustancia grasa líquida con fluidez a temperatura ambiente, esta no es miscible con el agua y posee menor densidad de la misma; estas a su vez se dividen según su origen en minerales y sintéticos (Matute & Sarmiento , 2012). Los aceites de base mineral se producen en el proceso de refinación del petróleo en las refinerías.

Según Speight & Exall 2014, los aceites de base sintética son más usados que los minerales y se pueden usar para motores de automoción y marinos, compresores, sistemas hidráulicos y engranajes, estos por lo general están constituidos por cadenas de hidrocarburos que van desde los C<sub>15</sub> hasta los C<sub>30</sub>; frente a esto los aceites de base sintética han logrado mayor popularidad debido a sus propiedades, tales como alto índice de viscosidad, ausencia de compuestos aromáticos, baja volatilidad, alta estabilidad térmica y comportamiento del flujo a baja temperatura.

## **2.3. ACEITES LUBRICANTES**

Los aceites lubricantes son compuestos que se utilizan para disminuir la fricción entre piezas que se encuentran en movimiento, manteniendo en funcionamiento las piezas del motor, es más, de su buen uso y aplicación depende mucho la vida útil del vehículo.

Un aceite lubricante consiste en uno o más componentes base (aceites básicos) en combinación con aditivos químicos que refuerzan las propiedades de los aceites base y/o adicionan características especiales a estos. El tipo específico de aditivo que se escoge y su proporción difiere según el tipo de servicio para el cual está destinado el lubricante (Jones Pawlak , 2007).

Las principales funciones de un aceite lubricante son:

- Reducción de la fricción
- Disipación de calor
- Retención y suspensión de contaminantes

### 2.3.1. CLASIFICACIÓN

Los aceites se clasifican según su origen, según el grado y clasificación técnica

#### a) Según su origen

Se clasifican en 2 grandes grupos:

- **Aceites sintéticos:** Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del crudo de petróleo, sino que son creados de subproductos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio. Las bases sintéticas se utilizan en aquellas aplicaciones en las que los aceites minerales no son recomendados debido a la agresividad del ambiente (altas temperaturas, radiaciones, oxidantes fuertes). Las bases sintéticas son esenciales para condiciones de temperatura subártica y para temperaturas por encima de 170 °C (Manzanares Jiménez , 2022).
- **Aceites minerales:** Las bases minerales son obtenidas de la destilación fraccionada del petróleo estos están compuestos en su mayoría por 44 % de alcanos de cadena lineal y cadena ramificada, 29% de cicloalcanos, 26.2% de aromáticos y 3,2 de naftalenos y aditivos en un (20 -10 %) acorde a Sanz Tejedor A. (2018).

#### b) Según el grado

- **Monógrados:** Es un lubricante que cumple un solo grado SAE puede ser un grado de verano o bien de invierno. Son aceites cuyos índices de viscosidad varían considerablemente en función de la temperatura (Vistony, 2018).
- **Multigrado:** Un aceite multigrado es diseñado para trabajar en aplicaciones donde los

cambios de temperatura son considerables, también se define como un producto que incluye varios grados de viscosidad, esto quiere decir que es una combinación de 2 grados, uno que se utiliza para bajas temperaturas y otra para altas temperaturas (Vistony, 2018).

**c) Según su clasificación técnica**

- **Clasificación SAE (Society of Automotive Engineers):** Se designa la viscosidad de un aceite de uso automotriz según la norma SAE J300, este expresa el grado de viscosidad del lubricante y los clasifica en 10 grados de viscosidad. La SAE clasifica los aceites lubricantes en dos tipos de grados; W (Winter) y W- (No winter), que hace referencia a las propiedades del aceite en frío, los cuales van desde 0W hasta los 25W, y los grados W- el cual muestra la adecuación del aceite para altas temperaturas, los cuales van desde los 20 a 60 (REPSOL, 2022).

**Figura 1**

*Viscosidad según SAE J300*

SAE J300 Engine Oil Viscosity Classification (2004)				
SAE	Cranking	Pumping	Kinematic	Kinematic
Viscosity	Viscosity (cP)	Viscosity (cP)	Viscosity (cSt)	Viscosity (cSt)
Grade	Max at Temp. (°C)	Max at Temp. (°C)	Min at 100°C	Max at 100°C
0W	6,200 at -35	60,000 at -40	3.8	—
5W	6,600 at -30	60,000 at -35	3.8	—
10W	7,000 at -25	60,000 at -30	4.1	—
15W	7,000 at -20	60,000 at -25	5.6	—
20W	9,500 at -15	60,000 at -20	5.6	—
25W	13,000 at -10	60,000 at -15	9.3	—
20	—	—	5.6	<9.3
30	—	—	9.3	<12.5
40	—	—	12.5	<16.3
50	—	—	16.3	<21.9
60	—	—	21.9	<26.1

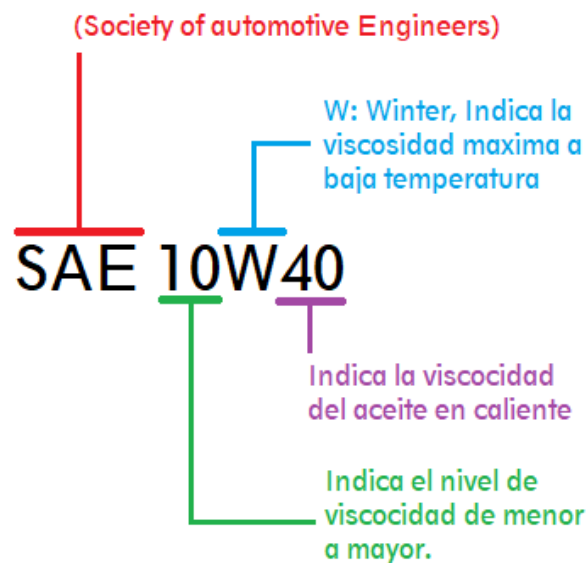
*Nota.* Adaptado de *Surface Activity Petroleum Derived Lubricants*, por Pillon Z., 2011.

En la figura 1 se muestra la clasificación de aceites según SAE mediante la normal J300 que clasifica los aceites según su grado de viscosidad a 100°C, en ese contexto se manejan los aceites monógrados (Ej.: SAE 30, SAE 40 y SAE 50) y los multigrados (Ej.: SAE 5W-30, SAE 10W-40, SAE 15W-50 y SAE 20W-50), (SAE international, 2018).

En la siguiente figura se observa el significado de las siglas para mencionar un aceite lubricante ya sea de base sintética o mineral, esta puede o no llevar la letra “W” ya que indica la viscosidad máxima a una baja temperatura, por lo general en otros países se usa específicamente en la temporada de invierno para que la viscosidad del aceite no disminuya significativamente con la temperatura.

**Figura 2**

*Interpretación de las siglas según SAE*



*Nota.* La figura esquemática fue elaborada en base a las definiciones mencionadas en la (SAE international, 2018).

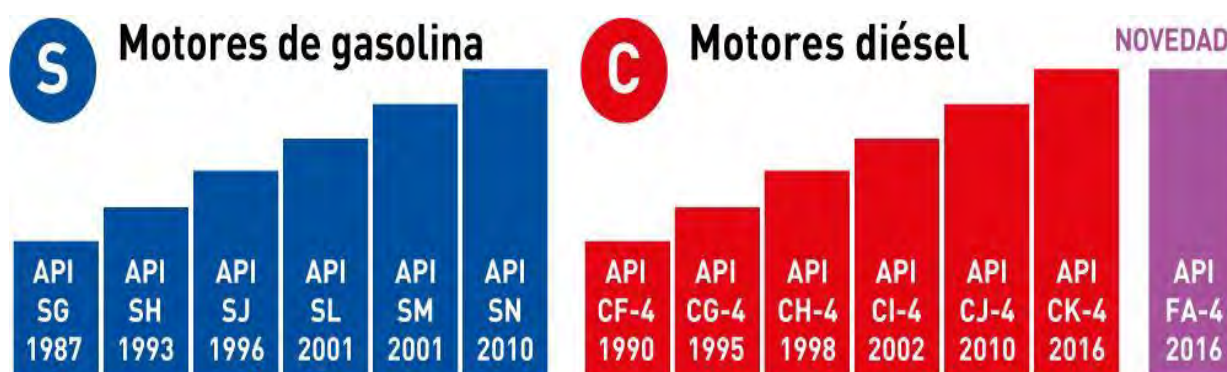


- **Clasificación API (American Petroleum Institute)**

La clasificación API designa el nivel de desempeño del lubricante ya sea que se aplica en un vehículo gasolinera y dual (S) o un petrolero (C), la S y la C van seguidas de una letra que en el orden ascendente del abecedario y clasifican la calidad del paquete de aditivos del lubricante. (SAE international, 2018).

**Figura 3**

*Clasificación según API*



*Nota. Adaptado de Liqui Moly – Lubricantes.*

### 2.3.2. ADITIVOS Y FUNCIONES

Son pequeños porcentajes de diferentes materiales solubles en aceites que se añaden a estos, de tal manera que les dan características que no se obtiene por los procesos de refinamiento. A estos materiales se les llama comúnmente aditivos y existen varios tipos como se muestra en el [anexo 11](#).

Los aceites usados para lubricar motores de combustión interna pueden contener uno o más de diferentes tipos de aditivos, dependiendo del diseño de la máquina y de las condiciones de funcionamiento (Speight & Exall, 2014).

Algunos tipos de aditivos más usados son:

- **Depresores del punto de congelación**

Tienen como función romper los cristales de las parafinas que se forman al descender la temperatura.

- **Aditivos de untuosidad**

Dispone sus moléculas adheridas a las superficies metálicas mediante fuerzas de tipo electrostático para evitar el contacto destructivo metal con metal (Liqui Moly, 2018).

- **Aditivos de extrema presión**

Forman películas de gran resistencia y reducido espesor, evitando que la película de lubricación que existe entre metales desaparezca (Speight & Exall, 2014).

- **Aditivos detergentes**

Este aditivo rodea a los depósitos carbonosos producidos por las reacciones de oxidación los cuales son arrancados de las piezas del motor, arrastrando las impurezas que pueden encontrarse en la parte interna del motor evitando que se peguen y tenga daños posteriormente en los ductos de lubricación (Speight & Exall, 2014).

- **Aditivos dispersantes**

Las partículas que son arrancadas por los detergentes son puestas en suspensión por este aditivo (Liqui Moly, 2018).

- **Aditivo anti corrosión**

La corrosión se debe más específicamente a la acción de la acidez de los compuestos de azufre y de los ácidos resultantes de la oxidación del aceite o combustible.

Este aditivo debe formar una barrera protectora y adherirse químicamente en la superficie metálicas de los componentes del equipo, donde es más probable la contaminación del sistema por agua (agua de mar o salmuera de petróleo) estos inhibidores forman una película

de barrera en la superficie del sustrato, lo que reduce la velocidad de corrosión y la velocidad de formación de óxido (Speight & Exall, 2014).

- **Aditivo antiespumante**

La agitación y aireación de los aceites lubricantes que se da en ciertas condiciones da resultado a la formación de burbujas de aire en el aceite (espuma). La formación de esta espuma mejora la oxidación de aceite y reduce el efecto de lubricación, para evitar esto se utilizan agentes antiespumantes como siliconas o el polimetacrilato de alquilo (REPSOL, 2022).

- **Antioxidantes**

Los aceites minerales reaccionan con el oxígeno del aire para formar ácidos orgánicos los cuales causan un aumento en la viscosidad del aceite, la formación de lodos y barnices, la corrosión de las partes metálicas y la formación de espuma (Liqui Moly, 2018).

Por lo tanto, su función es evitar las características anteriormente mencionadas para el asegurar el correcto funcionamiento del motor.

- **Aditivos anti-desgaste**

La fricción durante el servicio causará desgaste en las superficies metálicas desprotegidas, una consecuencia de la fricción es que la energía creada por la resistencia se convierte en calor. Para evitar esto se usa este aditivo el cual genera una película protectora entre las superficies adyacentes para reducir el desgaste y la disipación de calor generado.

- **Mejoradores de índice de viscosidad**

La viscosidad del aceite lubricante disminuye bruscamente a altas temperaturas. La baja viscosidad provoca una disminución en la capacidad de lubricación del aceite. Los mejoradores del índice de viscosidad mantienen la viscosidad en niveles aceptables, lo que proporciona una película de aceite estable incluso a temperaturas elevadas. Los mejoradores de la viscosidad se utilizan ampliamente en el aceite multigrado, cuya viscosidad se especifica a temperaturas altas

y bajas (Liqui Moly, 2018). Los mejoradores del índice de viscosidad son polímeros de cadena larga y alto peso molecular.

**Figura 4**

*Composición general de un aceite lubricante*



Nota. Adaptado de *Liqui Moly*, 2018.

### 2.3.3. PROPIEDADES DE LOS ACEITES LUBRICANTES

- **Viscosidad**

Es la resistencia que un fluido opone a cualquier movimiento interno de sus moléculas, dependiendo, por tanto, del mayor o menor grado de cohesión existente entre estas.

- **Índice de viscosidad**

Se entiende como índice de viscosidad, el valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura. Siempre que se calienta un aceite, éste se vuelve más fluido, su viscosidad disminuye; por el contrario, cuando el aceite se somete a temperaturas cada vez más bajas, éste se vuelve más espeso, es decir la viscosidad aumenta.

Según Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar (2017), Un alto índice de viscosidad indica una tasa de cambio de viscosidad relativamente baja con la temperatura, mientras que un

índice de viscosidad bajo indica una tasa de cambio de viscosidad con la temperatura relativamente alta.

**Tabla 1**

*Clasificación de la viscosidad según ISO*

ASTM D 2422 ISO Viscosity Grades for Industrial Lubricants				
Viscosity Grade ISO VG	Mid-Point Viscosity at 40 °C , cSt	Mid-point Viscosity at 40°C, SUS Approxirnate Equivalents	Viscosity Lirrnits at 40 °C, cSt Minimum	Viscosity Limits at 40°C, cSt Maximum
2	2	32	1.98	2.42
3	3	36	2.88	3.52
5	5	40	4.14	5.06
7	7	50	6.12	7.48
10	10	60	9	11
15	15	75	13.5	16.5
22	22	105	19.8	24.2
32	32	150	28.8	35.2
46	46	215	41.4	50.6
68	68	315	61.2	74.8
100	100	465	90	110
150	150	700	135	165
220	220	1000	198	242
320	320	1500	288	352
460	460	2150	414	506
680	680	3150	612	748
1000	1000	4650	900	1100
1500	1500	7000	1350	1650

*Nota.* Tabla adaptada de *Synthetics, Mineral Oils, & Bio - Based Lubricants*, (p. 971), por Speight, James G.; Heineman, Heinz, 2013.

La tabla 1 muestra el grado de viscosidad según las normas ASTM para hidrocarburos (D 2422) donde clasifica el índice de viscosidad a la temperatura de 40°C.

- **Punto de inflamación**

Es aquel punto en el que la temperatura del aceite llega a su punto de inflamación, el aceite emana suficientes vapores que se inflaman cuando una llama abierta es aplicada, cuando una prueba de este tipo se realiza bajo ciertas condiciones específicas, la temperatura a la cual esto sucede se denomina punto de inflamación, los vapores a esta temperatura son lo suficiente

para provocar una combustión sostenida y por ende la llama desaparece, a este punto se denomina punto de fuego. (Noria.MX, 2020)

- **Contenido de agua**

La determinación del contenido de agua es un indicador de vital importancia en la compra, venta o transferencia de productos derivados del petróleo para ayudar a predecir su calidad y características de rendimiento.

En el caso de las bases lubricantes son considerados compuestos higroscópicos por lo que absorben fácilmente agua desde el aire, la presencia de humedad podría provocar corrosión y desgaste prematuros, un aumento de la carga de residuos que provocaría una disminución de la lubricación y el taponamiento prematuro de los filtros, una impedancia en el efecto de los aditivos y un apoyo indeseable del crecimiento bacteriano nocivo (Sandino Corbet, 2018).

- **Color del aceite**

El color es un indicador visual que contrasta la calidad de un aceite, estos pueden variar desde transparentes a oscuros dependiendo del tipo de crudo proveniente, viscosidad y tratamiento que recibe durante la refinación, asimismo como la presencia de contaminantes u oxidación; por otro lado, también puede presentar oscurecimiento debido a una reacción fotolítica al estar expuesto a la luz solar, (Noria.MX, 2020).

- **Densidad y gravedad API**

La densidad de un aceite lubricante se mide por comparación entre los pesos de un volumen determinado de ese aceite y el peso de igual volumen de agua destilada, cuya densidad es igual a 1, a igual temperatura. Para los aceites lubricantes normalmente se indica la densidad a 15°C (Liqui Moly, 2018).

Una medida alternativa es la escala de gravedad API, donde:

$$API = \frac{141.5}{GE(60^{\circ}C)} - 131.5 \quad \text{Ec. 1}$$

La densidad aumenta con la viscosidad, el intervalo de ebullición y el contenido de nafteno y aromáticos, y disminuye a medida que aumentan los niveles de isoparafina y aumenta el índice de viscosidad. [\(Ver anexo 20\)](#)

- **Punto de Nube**

También conocido como punto de turbidez, indica la temperatura a la que se forman los cristales de cera y mide el índice de la temperatura más baja de la utilidad del aceite lubricante en ciertas aplicaciones.

Esta característica permite conocer el punto de cristalización de los aceites lubricantes los cuales se precipitan a altas temperaturas obstruyendo los filtros incluso obstaculizando el suministro de aceite (Lubritec, 2021).

- **Punto de Fluidéz**

Es la temperatura más baja a la que se observa que el aceite lubricante fluye por gravedad a través de un recipiente en forma horizontal durante cinco segundos, la temperatura empleada usualmente es de 3 °C o 5 °F por encima de la temperatura a la que el aceite no muestra movimiento. (Noria.MX, 2020)

## **2.4. ACEITES LUBRICANTES USADOS (ALU)**

El aceite ALU, a menudo denominado como aceite usado, es cualquier aceite lubricante (AL) ya sea refinado a partir del petróleo o de componentes sintéticos, que ha sido contaminado por impurezas físicas o químicas como resultado de su uso.

Según la definición de Environment Protection Agency (EPA), un aceite usado es cualquier aceite que haya sido refinado del petróleo crudo o cualquier aceite sintético, que haya sido usado y como resultado de tal uso este se contamina con impurezas físicas o química. Los aceites

lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación, con materiales como carbón, productos provenientes del desgaste de los metales y con otros sólidos.

#### **2.4.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS**

Los ALU poseen propiedades fisicoquímicas variables los cuales se encuentran entre rangos según (INACAL, 2014), esto se debe a que los ALU recolectados provienen de distintos puntos los cuales no son homogéneos en su totalidad y existe cierta variación en cada uno de los lotes provenientes.

**Tabla 2**

*Propiedades fisicoquímicas de los lubricantes usados*

<b>Propiedades</b>	<b>Intervalo de Variación</b>
Viscosidad (CSK) 40°C	19-434
100°C	4-30
Índice de viscosidad	90-120
Peso específico (15/15%)	0.86-0.94
Punto de congelación (°C)	-12 a -24
Punto de ignición (°C)	78-270
Punto de combustión (°C)	190-330

*Nota.* Adaptado de INACAL,2014. En la tabla 2 se muestran algunas de las propiedades de los ALU's que nos servirá de referencia para contrastar las propiedades con los ALU's recolectados a nivel local (Cusco).

#### **2.4.2. CONTAMINANTES DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS**

En los aceites usados por lo general se encuentran contaminantes tales como agua, suciedad atmosférica, partículas en suspensión, hollín, metales de desgaste del motor y productos de oxidación.



- **Agua**

El contenido de agua en los lubricantes usados es aproximadamente de 10 a 30%. El agua y la humedad en los ALU proviene de los vapores en el aire, fugas del sistema de refrigeración de vehículos y la combustión de combustibles, los cuales se pueden medir por el ASTM. (Montoro Moreno, 2005)

- **Suciedad atmosférica o partículas en suspensión**

Cuando los filtros son defectuosos o contienen aberturas en el sistema de filtro de aire favorecen la introducción de material suspendido de la atmósfera el cual acelera el desgaste del motor. (Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar, 2017)

- **Hollín**

Cuando el proceso de combustión es incompleto produce gases y hollín, en los motores de combustión interna el hollín queda disperso y es atrapado por el aceite lubricante. (Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar, 2017)

- **Metales**

La contaminación de los aceites lubricantes por partículas metálicas se debe al desgaste del motor, provocadas por la suciedad que ingresa a este, algunos metales presentes en los aceites usados son calcio, cromo, cadmio, arsénico, plomo, entre otros. (Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar, 2017)

- **Deterioro por oxidación**

Los ALU además de los contaminantes presentes en el cárter estos se someten a altas temperaturas y durante el proceso del motor existen entradas de aire las cuales provocan la oxidación del aceite lubricante y este conlleva al aumento de la viscosidad y al aumento de lodos. Si bien no se tiene mucha información sobre la oxidación de los aceites lubricantes, hay autores que afirman que la oxidación de los aceites lubricantes particularmente forma principalmente

hidroperóxidos los cuales se descomponen y dan como subproductos ácidos carboxilos, cetonas, alcoholes, esterres, resinas y asfáltenos. (Bennett Fitch, Noria Corporation, 2015).

**Tabla 3**

*Contaminantes presentes en los ALU*

<b>Contaminantes</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Concentración (ppm)</b>
Ba	Aditivos detergentes	< 100
Ca	Aditivos detergentes	1000-3000
Pb	Gasolina con plomo/ desgaste en cojinetes	100-1000
Mg	Aditivos detergentes/ cojinetes	100-500
Zn	Antioxidantes / aditivos anti desgaste	500-1000
P	Antioxidantes / aditivos anti desgaste	500-1000
Fe	Cilindro, cigueñal, agua, óxido	100-500
Cr	Cilindro, cigueñal, anillos, refrigerante	Trazas
Ni	Anillos, ejes	Trazas
Al	Embolo, cojinetes, suciedad, aditivos	Trazas
Cu	Cojinetes, refrigerantes	Trazas
Sn	Desgaste en cojinetes	Trazas
Cl*	Aditivos / gasolina con plomo	300
Si	Agentes des-espumantes / suciedad	50-100
S	Aceite base/productos de combustión	0.2-1%
Wáter	Combustión	5-10%

*Nota.* Tabla adaptada de *Francois, 2006.*

### **2.4.3. POSIBLES USOS DE LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS**

Según la (Asociación Colombiana de Petróleo, 2008) algunos de los posibles usos que se le dan a los ALU's automotrices son:

- **Aceite lubricante regenerado**

Estos aceites lubricantes regenerados son de calidad superior que los aceites lubricantes vírgenes por su resistencia a la oxidación.

- **Combustible**

Pueden ser utilizados en motor Diesel de generación eléctrica.

- **Fuel oleo industrial**

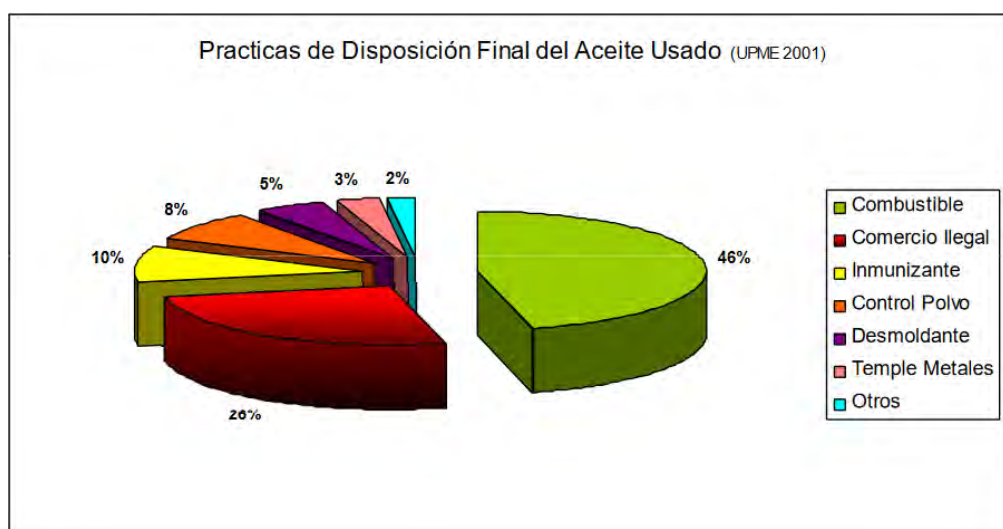
Se utiliza como combustible en hornos.

- **Amoniaco**

Los ALU son usados para producir monóxido de carbono e hidrogeno por conversión térmica (1440 °C), pero este último se hace reaccionar con nitrógeno en presencia de un catalizador para producir amoniaco.

**Figura 5**

*Uso de los ALU*



*Nota.* En la figura 8 se observa que el mayor porcentaje de los ALU se utiliza como combustibles según el informe presentado por OSINERGMIN en Colombia.

## **2.5. PROCESOS DE DESTILACIÓN**

### **2.5.1. DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA**

Es el proceso de separación de componentes a una presión cercana a la atmosférica (760 mmHg) entre temperaturas de 600°F a 750 °F dependiendo de la naturaleza del producto a destilar, este proceso físico se empleó inicialmente para separar una mezcla multicomponente,

se basa en la transferencia de masa entre las fases líquido-gas de una mezcla de hidrocarburos. Permite la separación de componentes en función de su punto de ebullición y volatilidad de la misma; para que se produzca el fraccionamiento o separación, es necesario que exista un equilibrio entre las fases líquido y vapor, que es función de la temperatura y presión del sistema. Así los componentes de menor peso molecular se concentran en la fase vapor y los de peso mayor, en el líquido. Las columnas se diseñan para que el equilibrio líquido-vapor se obtenga de forma controlada y durante el tiempo necesario para obtener los productos deseados (G. Speight, 2017).

### **2.5.2. DESTILACIÓN AL VACÍO**

El proceso de destilación al vacío es muy utilizado en la industria de refinación del petróleo, este proceso nació de la necesidad de separar productos menos volátiles como los aceites lubricantes y evitar someter a estos productos de alto punto de ebullición a condiciones de craqueo.

Las condiciones del proceso de destilación al vacío son a presiones entre 50 mmHg a 100 mmHg. Para evitar grandes variaciones de presión en la torre de vacío estas unidades tienen un diámetro mayor en comparación a las unidades atmosféricas. Esta unidad de vacío al tener un mayor diámetro le permite obtener gasóleos pesados como producto de cabeza a temperaturas de 150 °C y también se puede obtener cortes de aceites lubricantes a temperaturas de 250°C - 350°C. Las temperaturas de alimentación y residuos se deben mantener en temperaturas por debajo del 350°C para evitar el agrietamiento (el residuo comienza a descomponerse (L. Luyben, 2016).

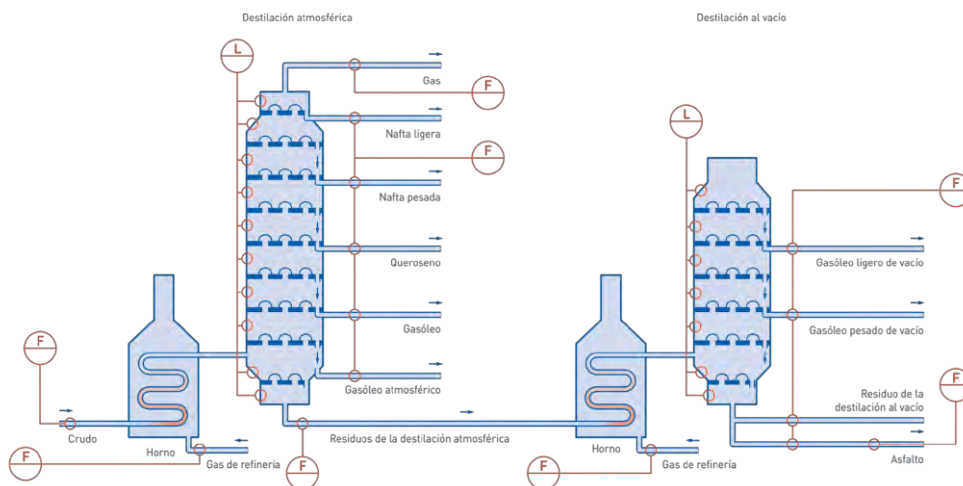
Las fracciones obtenidas por destilación al vacío de crudo reducido (residuo atmosférico) provenientes de la unidad de destilación atmosférica depende de si la unidad está diseñada para producir gasóleo lubricante o de vacío. Si es el primer caso las fracciones obtenidas serán gasóleo

pesado, aceite lubricante en tres fracciones (ligera, intermedia o pesada) y finalmente asfalto (o residuo) (Martinez Herrera, 2021).

Las condiciones del proceso de destilación al vacío se pueden ajustar para procesar una amplia gama de materias primas, desde crudos más ligeros hasta crudos más pesados y viscosos. Sin embargo, la temperatura máxima a la que se puede operar es 350°C. Superando esta temperatura se da lugar a la descomposición térmica, la cual produce coque que se deposita en las tuberías del calentador o en la propia unidad de vacío (G. Speight, 2017).

**Figura 6**

*Ejemplos de destilación atmosférica y de vacío*



*Nota. Adaptado de Hann & Bosch, 2013.*

La selección de la presión en la destilación al vacío es una de las decisiones más importantes, ya que tiene un gran impacto en la fase de equilibrio, volatilidad relativa, temperatura y la existencia de azeótropos.

Se ha encontrado experimentalmente que la volatilidad relativa de las mezclas a veces aumenta con la presión decreciente y a veces disminuye con la presión creciente. En caso de que la volatilidad relativa aumente a medida que disminuye la presión, una destilación al vacío para

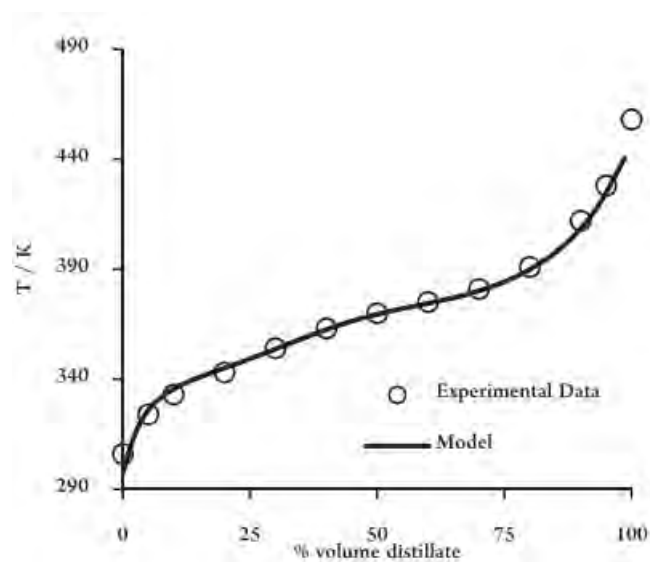
una separación determinada requiere una columna más corta que la destilación atmosférica si todas las demás variables se consideran inalteradas. Si la volatilidad relativa disminuye al disminuir la presión, se requiere una columna más larga para una separación dada al vacío que la que sería necesaria para la misma separación a presión atmosférica si las otras variables no se consideran afectadas (de Haan & Bosch, 2013).

### 2.5.3. CURVA DE DESTILACIÓN ASTM

Según (Vargas Fernández & Olaya Garay, 2012), esta curva de destilación es una representación gráfica de la temperatura de ebullición de una mezcla fluida, trazada contra el porcentaje del volumen destilado. Dado que la medición directa del equilibrio (líquido-vapor) es complejo; la curva de destilación proporciona la métrica como práctica de la volatilidad, las curvas de destilación son de gran valor en evaluación de las propiedades de cualquier tipo de mezclas.

**Figura 7**

*Esquema de curva de destilación ASTM*



*Nota.* Adaptado de *ASTM distillation curve*, (p. 6), Rafael N.G. Santos, Eduardo R.A. Lima, Márcio L.L. Paredes, 2021.

#### **2.5.4. RENDIMIENTO**

El rendimiento o también llamado rendimiento porcentual, es una relación que nos indica la cantidad de un producto recuperado a partir de un proceso químico o físico, dicho de otra forma, corresponde al porcentaje de la cantidad de producto que se esperaba obtener y que realmente se obtiene (Perez León, 2018)

#### **2.6. DISPOSICIÓN FINAL Y RECICLADO DE LOS ACEITES LUBRICANTES EN LA CIUDAD DE CUSCO.**

La disposición final de residuos tóxicos tales como los aceites lubricantes usados se han convertido en un problema de carácter local, nacional e incluso mundial, puesto que los efectos que provocan en el entorno medioambiental son de vital importancia.

Según Gonzales Bellido (2018), en la ciudad del Cusco se observa una gran cantidad de talleres mecánicos y lubricentros que se encargan de cambiar el aceite lubricante de los motores, así mismo los almacenan en cilindros y contenedores de plásticos muchos de ellos no adecuados para el correcto almacenamiento de los ALU. Asimismo, estos no son desechados adecuadamente, sin embargo al día de hoy existen empresas dedicadas a la recolección y tratamiento de los aceites lubricados, estas se encargan de recolectar los ALU de distintos puntos a nivel nacional para posteriormente ser llevados a su planta de tratamiento, sin embargo estas empresas no siempre contactan con todos los lubricentros, razón por la cual en varias oportunidades estas son desechadas por el alcantarillado o en su defecto son empleadas para el uso de motosierras, generadores o inhibir el crecimiento de vegetación en propiedades.

Es importante mencionar que la disposición final también depende de la formalidad del establecimiento, ya que los establecimientos que cuentan con una licencia de funcionamiento otorgada por la Municipalidad Provincial del Cusco son fiscalizados por la misma entidad y por la OEFA; y a su vez tienen un mejor manejo en cuanto al almacenamiento de estos desechos, sin

embargo los establecimientos informales no cuentan con permisos y por lo cual tampoco son fiscalizados ya que no cuentan con un registro, en estos establecimientos es donde se ha observado el mal manejo y almacenamiento de ALU.

En la ciudad del Cusco existen alrededor de cincuenta (50) establecimientos de cambio de aceite de motor, de los cuales solo siete (07) cuentan con autorización por parte de la municipalidad (MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO, 2022).

**Figura 8**

*Listado de lubricentros formales en la ciudad del Cusco*

*La encargada de emisión Licencia de Funcionamiento con el informe Nro. 092-EZP-DL-SGCIA- GDESM/GMC-2022, da cuenta que realizó la búsqueda en la base de datos del sistema digital de licencia de Funcionamiento que obra en esta Dependencia desde el año 2011 a la fecha (26/08/2022), HABIENDOSE ENCONTRADO EL REGISTRO de 07 establecimientos, que cuentan con Licencia de funcionamiento con las actividades que se requiere con los códigos que a continuación se detalla en el cuadro:*

NRO.	RAZÓN SOCIAL	DIRECCIÓN	ACTIVIDAD ECONÓMICA	ZONIFICACIÓN	CÓDIGO
01.-	Lubricantes de altura SAC.-Ofic. ADTVA(Vta. Lubricantes)	Urb. Magisterio Jr. Clorinda Matto de Turner Nro. 204.	Ofic. ADTVA,Vta. Lubricantes.	R-5	000046-2011
02.-	Lubricantes del Sur SAC.	Av. De la Cultura L-14-B-Manuel Prado	Vta.de Lubricantes	C-7	000906-2012
03.-	Chaves Chacón Nieves	Calle Pustipata Nro. A-1APV.Camino del Inca	Lubricantes "Chaves"	CP-2	005011-2016
04.-	Huamán Quispe Edgar	Av. Argentina T-6-Urb. Uchullo Grande	Vta. de Lubricantes "El Alcon"	RP-4	005983-2017
05.-	Gonzales Reyes Katy Sanny	Av. Los manantiales nro. 248.	Vta. de Aceite y Lubricantes	C-3	007835-2019
06.-	Industria Metal Mecánica Wayna E.I.R.L.	AA.HH. Pueblo Libre Nro. O-17	Taller Metal Mecánica	RP-2	002726-2013
07.-	Incappuño Serrano Rosendo	Av. Tupac Amaru E-3B-Urb. Picchu Alto.	Taller Mecánica Automótriz "Autoservicios Serrano"	CP-3	005591-2016

Nota. Adaptado de MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO, 2022.



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Hidrocarburos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, siendo de tipo aplicativo con enfoque cuantitativo y alcance explicativo con diseño experimental (Hernandez Sampieri, Fernandez-Collado, & Baptista Lucio , 2022).

### **3.1. MUESTRA**

La muestra estuvo constituida por los aceites lubricantes usados recolectados y debidamente preparado previamente, la cual posteriormente fue destilada.

### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **a) Materiales**

- Balón de destilación (500 ml)
- Vaso de precipitados (100 ml)
- Embudos (500 ml)
- Probeta (100 ml)
- Mangueras de agua (10m)
- Abrazaderas
- Jeringas (10ml y 20 ml)
- Tubos de ensayo (10 ml)
- Pipeta (10 ml)
- Botellas de vidrio
- Cucharilla
- Guantes de Nitrilo
- Batas de laboratorio
- Envases de polietileno de alta densidad (HDPE)

## b) Equipos

- Medidor de porcentaje de humedad, Moisture Meter Standard, Karl Fischer Titrator – Cou Lo Aquamax KF
- Viscosímetro, Stanbinger Viscometer - ANTON PAAR, SVM 3000
- Medidor de punto de inflamación, Petrotest - PMA-4
- Equipo de Destilación al Vacío ASTM D1160 – B/R 1160 Manualmente Operado
- Analizador XRF, (Fluorescencia de rayos X) portátil OLYMPUS Vanta
- Balanza (OHAUS)

## 3.3. PROCEDIMIENTO

### 3.3.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra fue recolectada de distintos establecimientos entre formales e informales, tomando 1 litro de muestra de cada establecimiento, siguiendo el procedimiento de NTP 900.051 (INACAL, 2019) para la recolección de aceites usados, se empleó un recipiente de Polietileno de alta densidad de (HDPE) el cual es el material adecuado para contener este tipo de desecho, obteniendo finalmente una muestra compuesta de aceite lubricante usado.

**Tabla 4**

*Lugares de recolección de muestras de aceite lubricante usado.*

LUGARES DE MUESTREO		
ESTABLECIMIENTO	VOLUMEN RECOLECTADO	ENVASE
Lubricentro D&E	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad
Lubricentro LUFIREP EIRL	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad
Andes Motor's	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad
Lubricantes del Sur SAC	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad
Lubricantes de Altura SAC	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad
Lubricantes El Alcon	1litro	Galonera de Polietileno de alta densidad

**Figura 9**

*Envases con muestras de aceite lubricante usado*



### **3.3.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Las muestras recolectadas fueron homogenizadas en un recipiente de polietileno de alta densidad; puesto que, provienen de distintos lugares, tipos de vehículos y tipos de aceites. Se dejó en reposo durante 24 horas para la sedimentación de partículas y posteriormente la muestra fue filtrada, ya que se observó que contenían partículas tales como; arena, piedras, polvo entre otros, esto debido al método de almacenamiento que emplean los establecimientos

**Figura 10**

*Filtración de la muestra*



### 3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE ACEITE LUBRICANTE USADO

La muestra fue caracterizada en los siguientes parámetros:

- Porcentaje de humedad
- Viscosidad dinámica a 40°C
- Viscosidad cinemática a 40°
- Densidad
- Gravedad API
- Gravedad específica
- Punto de inflamación
- Color

### 3.3.4. PROCESO DE DESTILACIÓN

Para realizar el proceso de destilación se tomó 100 mL de muestra preparada al proceso de destilación al vacío (ASTM D1160, 2018), del cual se obtuvo un condensado y residuo producto de la destilación realizada.

Se realizó los ensayos de destilación al vacío a tres presiones distintas para evaluar la efectividad, las presiones empleadas fueron de 48.54 mmHg, 68,54 mmHg y 88.53mmHg, asimismo se evaluó el rendimiento en los tres cortes de temperatura los cuales fueron de 350°C, 365°C y 380°C; estas a su vez son consideradas como las variables independientes las cuales surtirán efecto sobre el rendimiento y la calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado.

- **Variables independientes:**

- Presión
- Temperatura

- **Variables dependientes:**

- Rendimiento (%)

- Calidad

**Tabla 5**

*Rangos máximos y mínimos de operación*

<b>Variables Independientes</b>	<b>Valor Min</b>	<b>Valor Max</b>
Presión (mmHg)	100	40
Temperatura (°C)	270	400

Por otro lado, se empleó las curvas ASTM para evaluar el rendimiento a las distintas temperaturas según el volumen de destilado obtenido, asimismo se realizaron 6 repeticiones de las corridas a cada presión propuesta, teniendo un total de 18 muestras las cuales se muestran a continuación.

**Tabla 6**

*Número de pruebas (Presión - Temperatura)*

<b>RENDIMIENTO (mL) / PRESION - TEMPERATURA</b>				
<b>N° de Pruebas</b>	<b>PRESIÓN (mmHg)</b>	<b>TEMPERATURAS (°C)</b>		
		<b>T1= 350</b>	<b>T2= 365</b>	<b>T3= 380</b>
1	P1= 48.54	26.25	52.86	70.77
2	P1= 48.54	25.00	50.00	70.00
3	P1= 48.54	50.00	68.89	82.86
4	P1= 48.54	62.73	77.00	84.62
5	P1= 48.54	58.75	75.83	83.85
6	P1= 48.54	50.00	70.77	81.80
1	P2=68.54	51.65	68.13	82.65
2	P2=68.54	30.00	52.50	69.00
3	P2=68.54	31.67	50.00	71.43
4	P2=68.54	37.50	63.13	72.86
5	P2=68.54	28.75	52.86	71.25
6	P2=68.54	42.50	60.83	72.35
1	P3=88.53	42.86	60.83	72.67
2	P3=88.53	25.00	50.00	68.00
3	P3=88.53	28.75	48.75	67.78
4	P3=88.53	37.14	56.67	70.00
5	P3=88.53	42.50	59.00	70.83
6	P3=88.53	38.33	61.43	76.92

Esta tabla también se constituye como un instrumento de recolección de datos durante los ensayos realizados, para la determinación del rendimiento.

Los resultados y datos obtenidos serán analizados y tratados estadísticamente, para lo cual se realizó el análisis de varianza ANOVA, para determinar las implicancias de las variables; asimismo para determinar el efecto de la presión y temperatura sobre el rendimiento se realizó mediante el diagrama de Pareto.

Por otro lado, la calidad de los destilados obtenidos consistió en determinar la viscosidad aplicando la norma ASTM D445, porcentaje de humedad aplicando la ASTM D1744, punto de inflamación aplicando la ASTM D93, y el color mediante la ASTM D1500.

### **3.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL DESTILADO AL VACÍO.**

Se realizó el análisis de las propiedades fisicoquímicas del condensado obtenido según las normas ASTM D1744, D445, D93 y D1500, para determinar a qué tipo de base lubricante se asemeja empleando los equipos de análisis de hidrocarburos disponibles en el laboratorio.

- **Porcentaje de Humedad**

Se determinó el porcentaje de humedad se empleó el Karl Fischer Titrator/Cou-Lo Aquamax KF Moisture Meter; mediante el cual se determinó la cantidad de humedad para cada una de las muestras empleando la norma ASTM D1744

- **Viscosidad**

Se determinó la viscosidad se empleó el Stanbinger Viscometer-ANTON PAAR- SVM 3000 el cual se base en el principio de la norma (ASTM D445-21, 2021).

- **Punto de Inflamación.**

Se determinó el punto de inflamación se empleó el “PETROTEST” que se basa en el principio de la norma (ASTM D93-20, 2020) de Método de Ensayo Estándar para la determinación del Punto de Inflamación con Copa Cerrada de Pensky Martens.

- **Color ASTM**

Se determinó el color de la muestra empíricamente contrastando el color de las muestras obtenidas con la tira de gama de colores ASTM D1500, para determinar su valor en cuanto a su posición para aceites base.

- **Determinación de metales**

Se determinó la cantidad de partículas metálicas presente en el residuo sólido también conocido con coque bibliográficamente, obtenido de la destilación del ALU con recuperación del 90% de base lubricante, empleando el equipo de difracción de rayos X.

### **3.3.6. PARÁMETROS DEL PROCESO DE DESTILACIÓN**

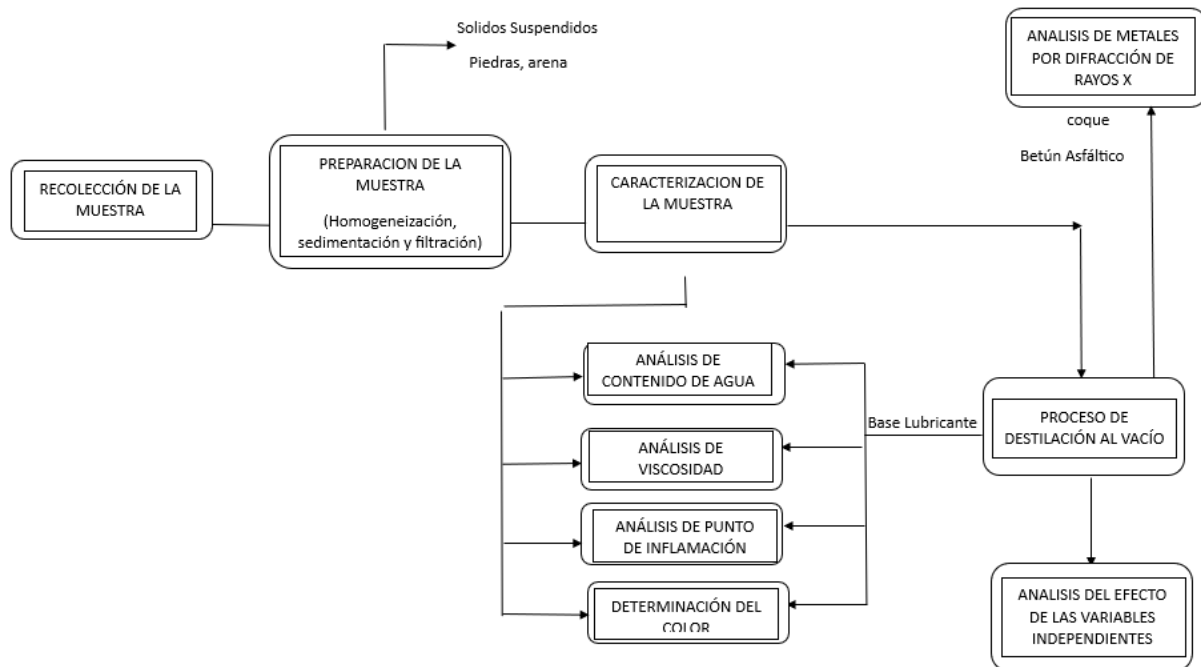
Los parámetros del proceso se determinaron en base al análisis de los rendimientos y resultados de la calidad, los cuales serán aquellos que poseen mejor porcentaje de rendimiento estableciendo como referencias a los antecedentes mencionados y en comparación con bases lubricantes nuevas.

Para poder completar la investigación se realizó el diagrama de bloques mostrado en la figura 9, en el cual se observa los pasos realizados desde la recolección de las muestras de aceite lubricante usado hasta los análisis realizados para contrastar las propiedades fisicoquímicas.

Para determinar el efecto entre las variables es necesario analizar el destilado obtenido; asimismo, se empleó la alimentación de datos mediante ANOVA para determinar la influencia sobre la variable de respuesta.

**Figura 11**

*Diagrama de bloques de la metodología*



Por otro lado, el mecanismo de funcionamiento del equipo se describe a continuación mediante el esquema mostrado en la ASTM D1160, en el cual se observa que la muestra de aceite lubricante usado pre acondicionado, es sometido a altas temperaturas en la manta eléctrica, posteriormente los vapores producidos al momento de la ebullición pasan por la columna de vacío donde son arrastrados hasta la el punto de condensación donde el vapor pasa a su estado líquido y pasa a la zona de recuperación

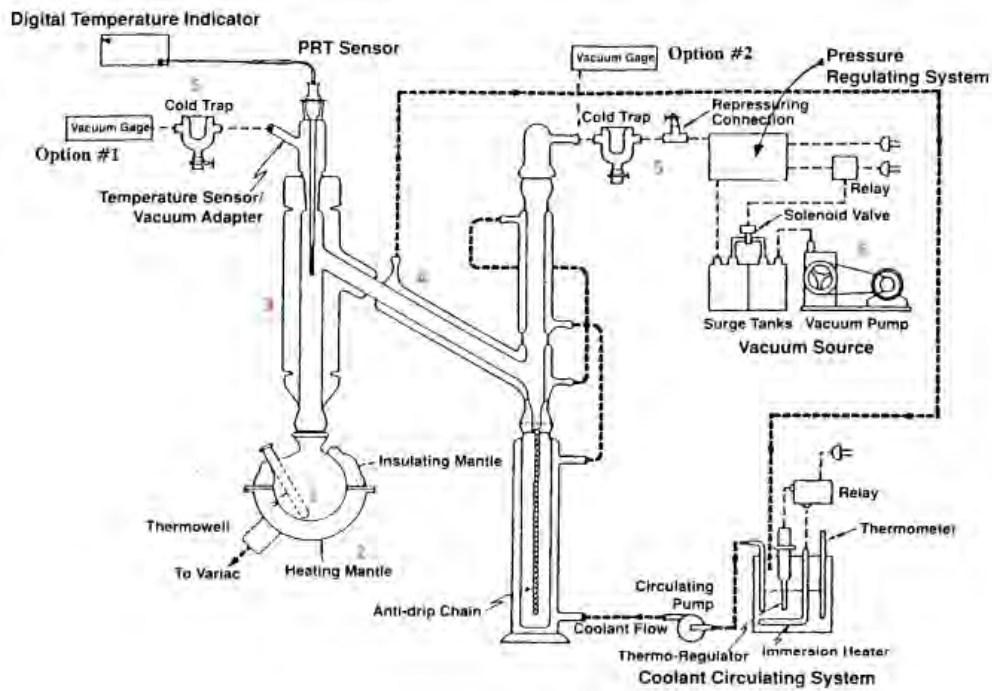
El equipo de destilación al vacío D1160, consta de un balón de destilación<sup>1</sup> el cual se coloca dentro de una manta eléctrica<sup>2</sup> el cual suministra energía para iniciar ebullición y desprender vapores los cuales suben hasta la columna de vacío<sup>3</sup>, una vez que el ambiente dentro de la columna de vacío se sature los vapores pasaran a la zona de condensación<sup>4</sup>, donde por exterior de compartimiento ingresa agua de refrigeración proveniente del sistema de



recirculación; asimismo, los vapores más ligeros que se tienen a ir por el tope son atrapados en las trampas de frío<sup>5</sup>, para la lectura de la temperatura y la presión se tiene un termómetro digital y un manómetro digital.

**Figura 12**

*Esquema del equipo de destilación al vacío ASTM D1160*



Donde:

- (1) Balón de destilación, (2) manta eléctrica, (3) columna de vacío, (4) zona de condensación, (5) trampas de frío, (6) bomba de vacío, (7) termómetro digital.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Los resultados de la caracterización se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 7**

*Propiedades de la muestra preparada de aceite lubricante usado*

<b>Propiedades</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Contenido de Humedad	2170.89	ppm
Viscosidad Dinámica a 40°C	69.799	mPas.s
Viscosidad Cinemática a 40°C	81.308	mm <sup>2</sup> /s
Densidad	0.873	g/cm <sup>3</sup>
API	30.509	
Gravedad Específica	0.874	
Punto de inflamación	209	°C
Color	8	

*Nota.* Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de valores presentados en la NTP 900.050 mostrados en el marco teórico.

### 4.2. PROCESO DE DESTILACIÓN AL VACÍO

Se realizó el proceso de destilado al vacío de las muestras a distintas presiones para obtener los datos necesarios para ser analizados. Asimismo, se obtuvo dos sub productos dependiendo del porcentaje de recuperación de la base lubricante.

Recuperación al 85%:

- Base lubricante: 85 %
- Betún asfáltico: 15%

Recuperación al 90%:

- Base lubricante: 90%
- Coque: 10%

**a) Destilación a presión de vacío 48.54 mmHg**

**Tabla 8**

*Datos obtenidos de la destilación a 48.54 mmHg*

<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Vol. (mL)</b>	<b>T1 (°C)</b>	<b>T2 (°C)</b>	<b>Delta (T1 - T2)</b>
0%	0.0	291.0	105.0	186.0
5%	5.0	316.0	237.0	79.0
10%	10.0	340.0	314.0	26.0
15%	15.0	344.0	321.0	23.0
20%	20.0	347.0	325.0	22.0
25%	25.0	350.0	329.0	21.0
30%	30.0	354.0	336.0	18.0
40%	40.0	359.0	348.0	11.0
50%	50.0	365.0	357.0	8.0
60%	60.0	372.0	365.0	7.0
70%	70.0	382.0	372.0	10.0
80%	80.0	396.0	380.0	16.0
84.6%	84.6	405.0	385.0	20.0

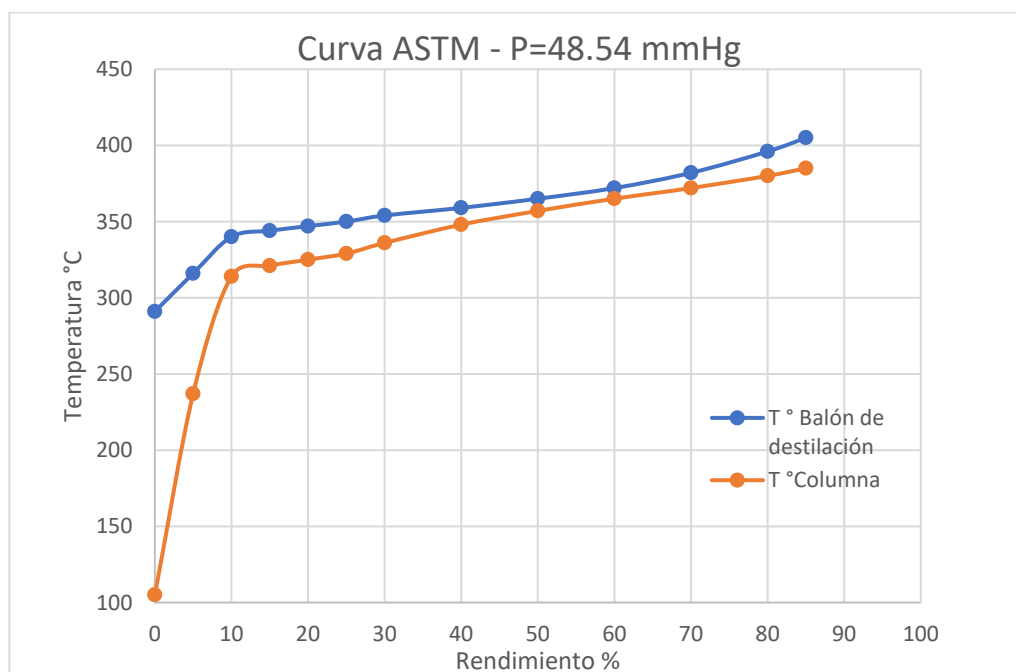
*Nota.* T1= Temperatura en el balón de destilación; T2= Temperatura en la columna

La tabla 8 muestra los valores obtenidos a partir de la destilación a 48.54 mmHg en el cual se visualiza el rendimiento o porcentaje de recuperación y la diferencia de las temperaturas del balón y la columna, obteniendo un rendimiento máximo de 84.6mL a 405 °C.

Por otro lado; se aprecia el rendimiento a las temperaturas de 350°C, 365°C y 380°C los cuales se tomaron como referencia para evaluar el rendimiento del proceso, obteniendo un recuperado de base lubricante de 25mL a 350°C; 50mL a 365°C y 68mL a 380°C.

**Figura 13**

*Curva ASTM – Presión de vacío 48.54 mmHg*



La curva apreciada en la figura 13 muestra la curva ASTM construida a partir de la tabla 5 en el cual se observa una subida brusca de temperatura en la columna, esto debido a la acumulación de vapores en el balón de destilación, lo que también da origen a la primera gota considerada como el punto 0%.

Asimismo, se observa la variación de las distancias entre las curvas de la temperatura del balón y la temperatura de la columna arraigadas al delta obtenido como diferencia de ambos; sin embargo, como interpretación visual al momento de la experimentación se resolvió que entre menor sea el valor del delta o la distancia entre las curvas, este presentaba un aumento en el flujo del destilado, y el color se tornó rojizo oscuro durante la última etapa de destilación observándose un considerable arrastre de impurezas debido a la succión provocada por el vacío.

Por otro lado, se recuperó un total de 84.6mL de base lubricante como destilado, lo que hace un 71.21g en peso y un residuo de 9.83g en forma de betún asfáltico, este rendimiento es

superior al 84.5%, similar al obtenido por Eman y Shoaib (2013) donde se obtiene un total de 84% de recuperados a 5mmHg

Sin embargo, en todas las pruebas realizadas a distintas presiones de vacío se obtiene un rendimiento superior y poseen un grado de purificación significativo dentro de la gama de color ASTM -D1500, teniendo un valor máximo de 2 posicionando a la base lubricante recuperada dentro la escala SN100 y SN150 el cual muestra un color similar al que obtienen Salem y Babaei (2014) quienes obtienen un color en la escala de aceites base de SN150-SN200.

Asimismo, se observa que en los cortes de temperatura a 365°C se obtiene 50mL de aceite recuperado, este valor es ligeramente inferior al obtenido por Salem y Babaei (2014), quienes obtuvieron un 54% a 360°C y 5mmHg, sin embargo, el valor de 54% fue el rendimiento total.

#### **b) Destilación a presión de vacío 68.54 mmHg**

**Tabla 9**

*Datos obtenidos de la destilación a 68.54 mmHg*

<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Vol (mL)</b>	<b>T1 (°C)</b>	<b>T2 (°C)</b>	<b>Delta (T1 - T2)</b>
0%	0.0	317.0	113	204.0
5%	5.0	320.0	265	55.0
10%	10.0	326.0	303	23.0
15%	15.0	330.0	307	23.0
20%	20.0	334.0	314	20.0
25%	25.0	337.0	317	20.0
30%	30.0	340.0	322	18.0
40%	40.0	348.0	328	20.0
50%	50.0	356.0	340	16.0
60%	60.0	364.0	351	13.0
70%	70.0	376.0	353	23.0
80%	80.0	393.0	361	32.0
90%	90.0	406.0	374.0	32.0

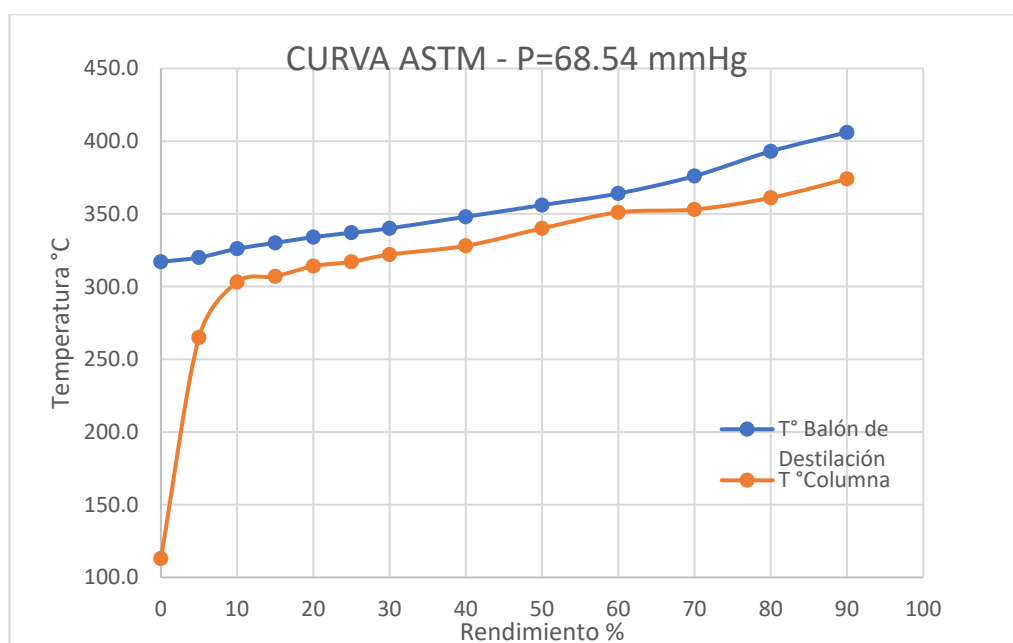
*Nota.* T1= Temperatura en el balón de destilación; T2= Temperatura en la columna

La tabla 9 muestra los valores obtenidos a partir de la destilación a 68.54 mmHg en el cual se visualiza el rendimiento o porcentaje de recuperación y la diferencia de las temperaturas del balón y la columna, obteniendo un rendimiento máximo de 90mL a 406 °C.

Por otro lado; se aprecia el rendimiento a las temperaturas de 350°C, 365°C y 380°C los cuales se tomaron como referencia para evaluar el rendimiento del proceso, obteniendo un recuperado de base lubricante de 42.5mL a 350°C; 60.83mL a 365°C y 72.35mL a 380°C.

**Figura 14**

*Curva ASTM – Presión de vacío 58.54 mmHg*



La curva apreciada en la figura 14 muestra la curva ASTM construida a partir de la tabla 6 en el cual se observa una subida brusca de temperatura en la columna al igual que la figura 30, por otro lado se observa el comportamiento de las curvas que tienden a acercarse y distanciarse cuando se llega rendimiento del 60mL a una temperatura de 350°C; puesto que, llegando a ese punto los componentes más ligeros de la mezcla de alcanos y aromáticos (C<sub>15</sub>-C<sub>22</sub>) que componen el aceite base terminaron de destilarse provocando la caída continua del flujo incrementando el delta de temperatura; razón por la cual se aumenta la potencia del suministro de energía para

continuar la destilación y recuperar las cadenas más pesadas que van desde los C<sub>25</sub>-C<sub>30</sub> presentes en el aceite lubricante. Asimismo, se observa la variación de las distancias entre las curvas de la temperatura del balón y la columna no presentan un gradiente de temperatura considerable; sin embargo, el color mantuvo su tono ámbar durante la última etapa de destilación teniendo un valor máximo de 1.5 posicionando a la base lubricante recuperada dentro la escala SN100 y SN150 el cual muestra un mejor color frente al que obtienen Salem y Babaei (2014) quienes obtienen un color en la escala de aceites base de SN150-SN200.

Por otro lado, se recuperó un total de 90mL de base lubricante como destilado lo que hace un 75.40g en peso y un residuo de 7.43g en forma de coque, este rendimiento es superior al realizado por Eman y Shoaib (2013) donde se obtiene un total de 84% de recuperados a 5mmHg, al igual que las muestras sometidas a 48.54mmHg; sin embargo, se observa que en los cortes de temperatura a 365°C se obtiene 60.83 mL de aceite recuperado, este valor es superior al obtenido por Salem y Babaei (2014), quienes obtuvieron un 54% a 360°C y 5mmHg, sin embargo, el valor de 54% fue el rendimiento total.

### c) Destilación a presión de vacío 88.53 mmHg

**Tabla 10**

*Datos obtenidos de la destilación a 88.53 mmHg*

Rendimiento (%)	Vol (mL)	T1 (°C)	T2 (°C)	Delta (T1 - T2)
0%	0.0	309.0	117.0	192.0
5%	5.0	323.0	250.0	73.0
10%	10.0	328.0	301.0	27.0
15%	15.0	330.0	317.0	13.0
20%	20.0	332.0	321.0	11.0
25%	25.0	335.0	326.0	9.0
30%	30.0	337.0	329.0	8.0
40%	40.0	343.0	334.0	9.0
50%	50.0	350.0	340.0	10.0
60%	60.0	357.0	349.0	8.0
70%	70.0	366.0	359.0	7.0
80%	80.0	376.0	368.0	8.0
90%	90.0	390.0	371.0	24.0

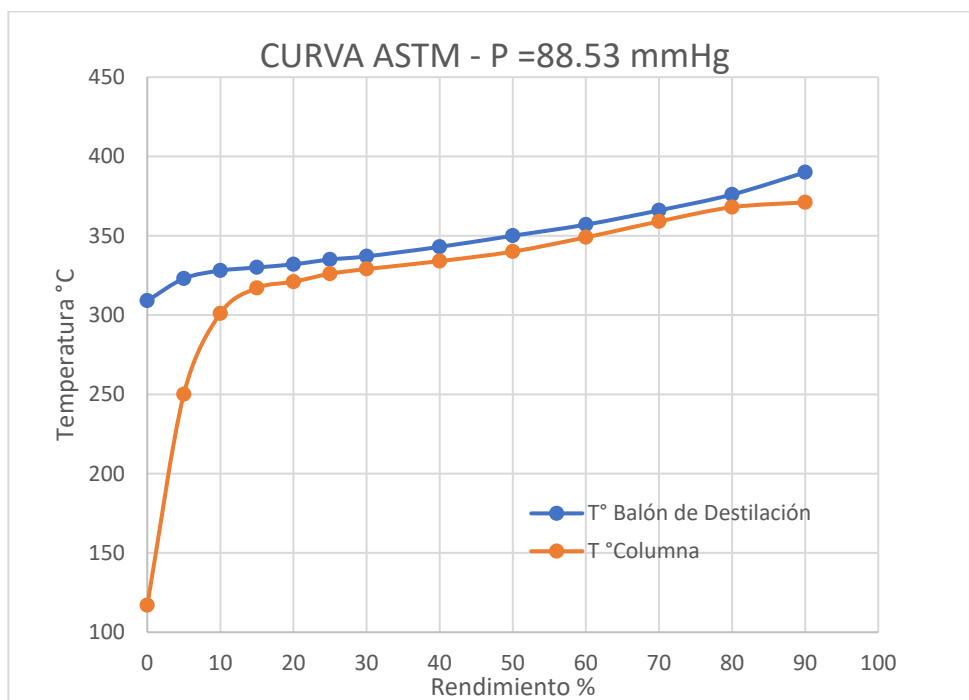
Nota. T1= Temperatura en el balón de destilación; T2= Temperatura en la columna

La tabla 10 muestra los valores obtenidos a partir de la destilación a 88.53 mmHg en el cual se visualiza el rendimiento o porcentaje de recuperación y la diferencia de las temperaturas del balón y la columna, obteniendo un rendimiento máximo de 90mL a 390 °C.

Por otro lado; se aprecia el rendimiento a las temperaturas de 350°C, 365°C y 380°C los cuales se tomaron como referencia para evaluar el rendimiento del proceso, obteniendo un recuperado de base lubricante de 50mL a 350°C; 60.89mL a 365°C y 82.86mL a 380°C.

### Figura 15

Curva ASTM – Presión de vacío 88.53 mmHg



La curva apreciada en la figura 15 muestra la curva ASTM construida a partir de la tabla 8 en el cual se observa una subida brusca de temperatura en la columna al igual que las figuras 14 y 13. Asimismo, se observa la variación de las distancias entre las curvas de la temperatura del balón y la columna no presentan un delta considerable y se observa un comportamiento estacionario lo que permitió un flujo constante y el color mantuvo su tono ámbar claro durante

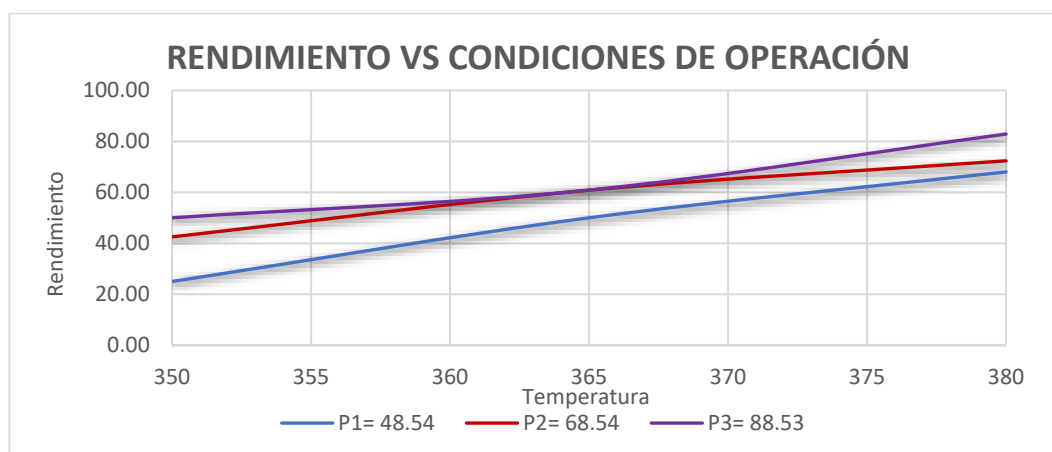


la última etapa de destilación sin demasiado arrastre de impurezas teniendo un valor máximo de 1 en la tira de color, posicionando a la base lubricante recuperada dentro la escala SN100 y SN150 el cual muestra un mejor color frente al que obtienen Salem y Babaei (2014) quienes obtienen un color en la escala de aceites base de SN150-SN200 el cual es superior a 2; sin embargo, se observó que el tiempo de destilación fue significativamente más largo que las pruebas a 48.54mmHg y 68.54mmHg.

Por otro lado, se recuperó un total de 90mL de base lubricante como destilado lo que hace un 76.69g en peso y un residuo de 6.59g en forma de coque, este rendimiento es superior al realizado por Eman y Shoaib (2013) donde se obtiene un total de 84% de recuperados a 5mmHg, al igual que las muestras sometidas a 48.54mmHg; sin embargo, se observa que en los cortes de temperatura a 365°C se obtiene 60.89 mL de aceite recuperado, este valor es superior al obtenido por Salem y Babaei (2014), quienes obtuvieron un 54% a 360°C y 5mmHg, sin embargo el valor de 54% fue el rendimiento total.

**Figura 16**

*Rendimiento – condiciones de operación*



La figura 16 muestra el comportamiento del rendimiento según las condiciones de operación, según lo cual anteriormente descrito se puede concluir en que las condiciones ideales de presión de operación para la experimentación realizada son de 68.54mmHg.

### 4.3. BALANCE DE MATERIA

Se realizó el balance de materia para determinar las cantidades en peso de entrada, salida y la acumulación en el equipo de destilación, considerando los materiales usados y partes de equipo por donde circula la base lubricante recuperada, tales como; la trampa de frío y la esponja de acero inoxidable la cual se empleó como un demister para atrapar los vapores ligeros que salían por el tope.

Figura 17

Diagrama de bloques - P1= 48.54mmHg

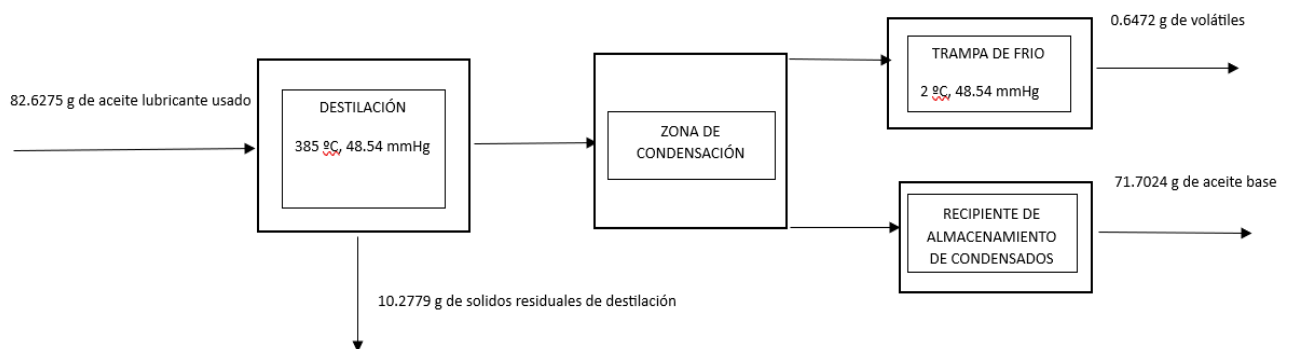
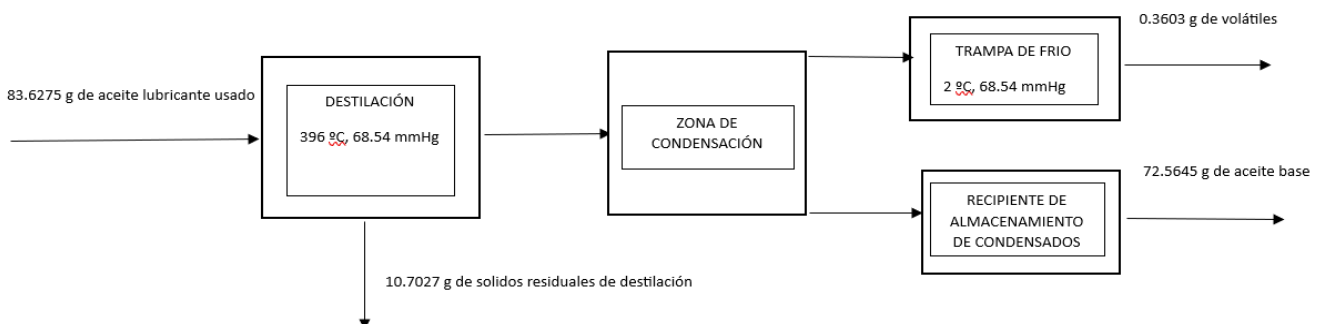


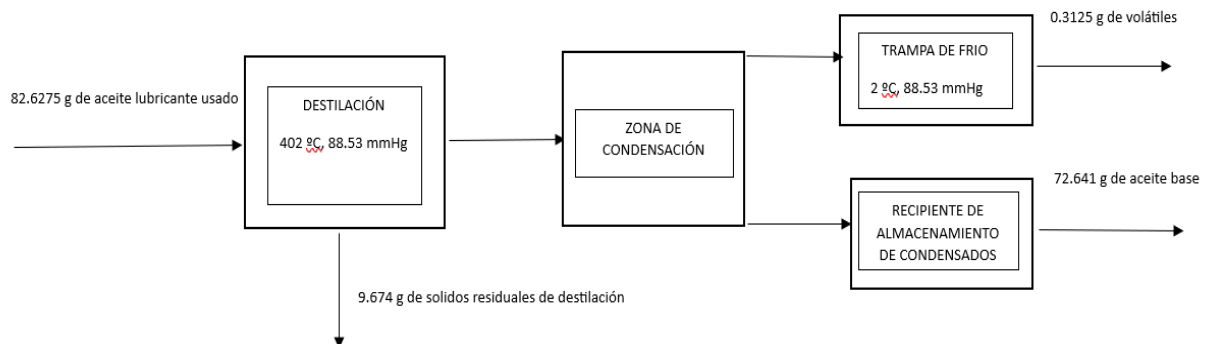
Figura 18

Diagrama de bloques - P1= 68.54mmHg



**Figura 19**

*Diagrama de bloques - P1= 88.53mmHg*



Las figuras 17, 18 y 19 muestran el proceso realizado para la elaboración del balance de materia, tomando como referencia tres experimentos realizados a distintas presiones de vacío, cabe mencionar que los ejemplos tomados a distintas presiones son valores referenciales tomados al azar de la lista de experimentaciones a distintas presiones.

**Tabla 11**

*Datos de entrada y salida para el balance de materia.*

<b>Balance de Materia</b>	
<b>Datos de entrada</b>	<b>Datos de salida</b>
Peso del balón vacío	Peso del balón con residuo
Peso del balón con muestra	Peso del residuo
Volumen inicial	Volumen recuperado
Peso de la muestra	Peso del aceite recuperado
	Peso del aceite acumulado en el sistema

*Nota.* La tabla 11 muestra los datos que se emplearon para realizar el balance de materia donde se tiene algunos datos fijos y otros variables, a partir de los cuales se hallaron los valores iniciales restantes empleando las siguientes ecuaciones:

$$P_{BM} - P_{BV} = P_{muestra} \quad \text{Ec.2}$$

$$P_{BR} - P_{BV} = P_{residuo} \quad \text{Ec.3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec.4

Donde:

$P_{BM}$ : Peso del balón con muestra

$P_{BR}$ : Peso del balón con residuo

$P_{BV}$ : Peso del balón vacío

$m$ : masa

$v$ : volumen

- Masa de la muestra

$$V_o = 100 \text{ ml}$$

$$P_{BV} = 170.3725 \text{ g}$$

$$P_{BM} = 254 \text{ g}$$

$$\rho_{alu} = 0.8263 \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)$$

$$\rho_{alu} = \frac{m_o}{V_o}$$

$$m_o = 82.63 \text{ g}$$

- Balance general

$$m_o = m_f + \text{Residuo} + \text{Acumulación}$$

Ec.5

En la Ec. 5 se considera la acumulación puesto que quedaron residuos de coque en el balón de destilación y columna de vacío, por otro lado, también quedaron residuos de la base lubricante recuperada en la zona de condensación, en el ducto de vacío de la bomba, trampa de frío y demister.

Por lo tanto, será la empleada como ecuación para el balance general, se realizó el cálculo para todas las pruebas realizadas a distintas presiones, como se presenta en la tabla 10; asimismo, se muestra los valores en peso obtenidos a partir del balance de materia realizado, comprobando el principio del equilibrio.

**Tabla 12**

*Balance de materia*

<b>BALANCE DE MATERIA</b>							
<b>Presión de vacío (mmHg)</b>	<b>Data de entrada</b>	<b>Data de salida</b>					
	<b>Peso de la muestra (g)</b>	<b>peso de residuo (g)</b>	<b>Volumen Recuperado (ml)</b>	<b>Densidad del aceite recuperado (g/ml)</b>	<b>Peso del aceite recuperado (g)</b>	<b>Peso de destilado que quedo en la trampa de frio o demister (g)</b>	<b>Peso total de la muestra (g)</b>
88.53	82.63	9.67	85.00	0.85	72.64	0.31	82.63
88.53	82.63	8.88	86.00	0.85	73.50	0.24	82.63
88.53	83.63	6.59	90.00	0.85	76.70	0.34	83.63
88.53	82.63	9.92	85.00	0.85	72.33	0.38	82.63
88.53	81.63	8.78	85.00	0.85	72.29	0.55	81.63
88.53	81.63	8.38	86.00	0.85	73.14	0.10	81.63
68.54	83.63	10.70	85.00	0.85	72.56	0.36	83.63
68.54	83.63	10.00	85.00	0.85	72.64	0.98	83.63
68.54	83.63	8.53	87.00	0.86	74.65	0.44	83.63
68.54	82.63	8.78	86.00	0.85	73.41	0.44	82.63
68.54	83.63	9.96	85.00	0.85	72.56	1.11	83.63
68.54	83.63	8.85	86.00	0.85	73.41	1.37	83.63
48.54	82.63	10.28	84.00	0.85	71.70	0.65	82.63
48.54	82.63	9.84	84.60	0.85	72.21	0.57	82.63
48.54	82.63	10.25	84.00	0.85	71.70	0.68	82.63
48.54	82.63	9.65	84.50	0.85	72.13	0.85	82.63
48.54	83.63	6.67	90.00	0.85	76.62	0.34	83.63
48.54	83.63	14.95	80.00	0.85	68.36	0.32	83.63

*Nota.* Los valores fijos tales como, volumen inicial, peso del balón con y sin muestra se visualizan en masa de la muestra.

#### 4.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE BASE RECUPERADO

Se realizó el análisis de propiedades fisicoquímicas para el aceite regenerado obtenido, el cual se muestra en las siguientes tablas:

- **Porcentaje de Humedad**

La siguiente tabla muestra el contenido de agua de cada muestra en ppm y porcentajes, teniendo como promedio total de cada grupo los siguientes datos:

**Tabla 13**

*Porcentaje de humedad presentes en las muestras.*

Nro.	P3= 88.53 mm Hg		P2: 68.54 mm Hg		P1: 48.54 mm Hg	
	ppm	% de Humedad	Ppm	% de Humedad	Ppm	% de Humedad
1	78.96	0.0079	167.64	0.0168	116.35	0.0116
2	66.82	0.0067	200.83	0.0201	124.89	0.0125
3	62.56	0.0063	84.84	0.0085	137.84	0.0138
4	66.53	0.0067	64.23	0.0064	120.5	0.0121
5	66.43	0.0066	82.29	0.0082	106	0.0106
6	61.63	0.0062	112.71	0.0113	113.01	0.0113

En la tabla 13 se aprecia los valores promedios de cada grupo, si bien no existe un valor máximo permisible del contenido del agua establecido por la ASTM; sin embargo, según Sandino Corbet (2018) afirma que el contenido mínimo de agua para aceites lubricantes en su forma comercial no debería exceder los 500ppm ya que niveles superiores podrían descomponer totalmente los aditivos antidesgaste.

Por lo tanto se podría concluir que el contenido de agua de los destilados de vacío obtenidos se encuentran en el rango adecuado.

**Tabla 14**

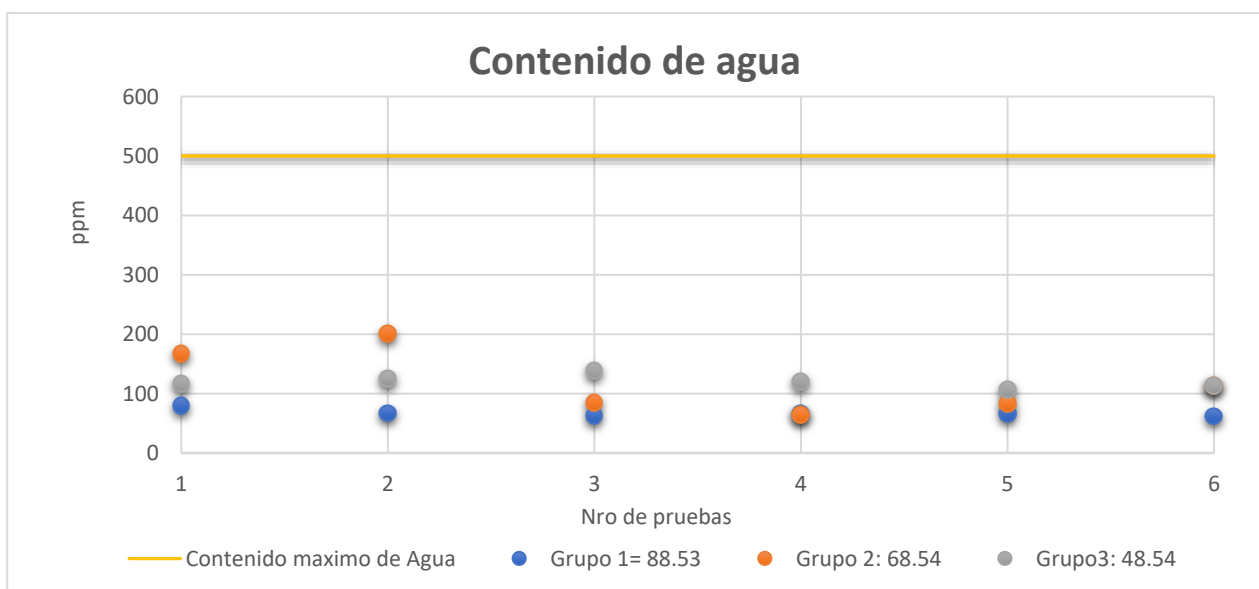
*Tabla resumen de promedios del contenido de humedad*

PROMEDIOS (% de agua)		
GRUPOS	Porcentaje	Ppm
P1 = 88.53 mmHg	0.0120	120
P2 = 68.54 mmHg	0.0096	96
P3 = 44.54 mmHg	0.0075	75

Por otro lado, en la figura 20 se aprecia la variación del contenido de agua presente en cada una de las muestras a distintas presiones de vacío, estableciendo el contenido máximo de agua de 500 ppm o 0.05% según Sandino Corbet (2018) y Vaisala (2019) un contenido superior a este provocaría el inicio de una reacción en cadena con los compuestos azufrados llegando a producir pequeñas cantidades de ácido los cuales podrían afectar significativamente la vida útil del motor. Por lo tanto, en base a esta investigación los condensados obtenidos se encuentran dentro del rango máximo permisible.

**Figura 20**

*Gráfico de contenido de agua*



- Viscosidad

**Tabla 15**

*Datos de viscosidad a 40°C*

Nro.	P3= 88.53 mm Hg		P2: 68.54 mm Hg		P3: 48.54 mm Hg	
	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática
1	25.11	29.861	24.498	29.295	24.602	29.42
2	24.84	29.555	21.062	21.172	24.481	29.26
3	22.07	26.347	23.114	27.501	25.282	30.12
4	20.00	23.897	27.957	33.089	24.228	28.86
5	19.76	23.628	24.199	28.931	26.079	31.04
6	19.61	23.441	23.766	28.354	22.597	26.99

**Tabla 16**

*Datos de viscosidad a 100°C*

Nro.	P3= 88.53 mm Hg		P2: 68.54 mm Hg		P1: 48.54 mm Hg	
	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática
1	4.25	5.2914	4.1942	5.2453	4.3259	5.41
2	4.34	5.3969	3.8225	4.7817	4.3216	5.40
3	4.07	5.0812	4.1032	5.1092	4.3558	5.43
4	3.61	4.5215	4.5683	5.6549	4.2405	5.28
5	3.63	4.5481	4.2814	5.3548	4.437	5.53
6	3.65	4.5729	4.2053	5.2465	4.0682	5.09

En la tabla 15 y 16 se observa la viscosidad dinámica y cinemática de cada muestra a 40°C tal cual establece el método de prueba estándar ASTM D445 para productos derivados del petróleo.



**Tabla 17**

*Tabla resumen de viscosidades a 40°C y 100°C*

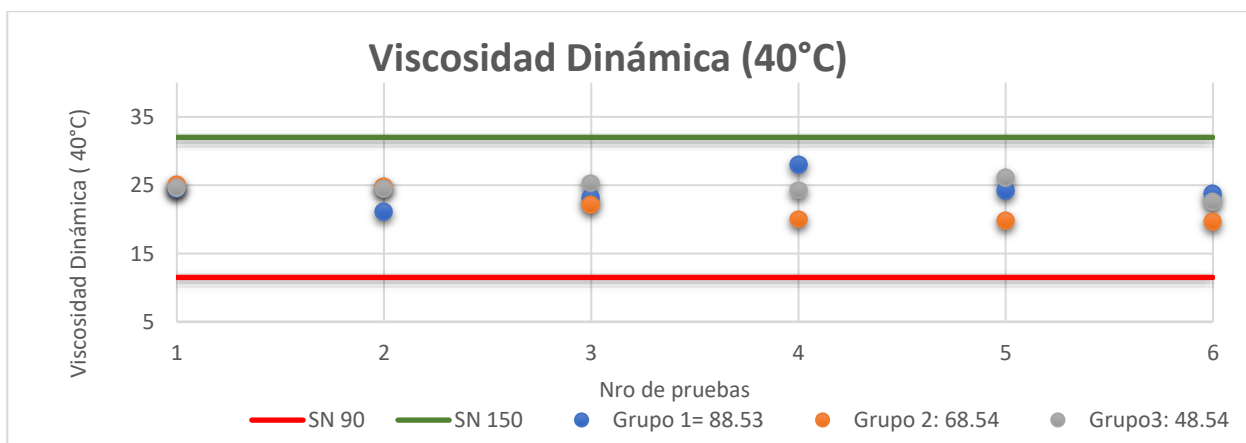
<b>PROMEDIO (Viscosidades)</b>			
<b>Presión y tipo de viscosidad</b>		<b>Viscosidad a 40°C</b>	<b>Viscosidad a 100°C</b>
P1= 88.53 mmHg	Viscosidad Dinámica	21.90	3.93
	Viscosidad Cinemática	26.12	4.90
P2= 68.54 mmHg	Viscosidad Dinámica	24.10	4.20
	Viscosidad Cinemática	28.06	5.23
P3= 48.54 mmHg	Viscosidad Dinámica	24.54	4.29
	Viscosidad Cinemática	29.28	5.36

*Nota.* (Viscosidad dinámica: mPa.s) / (Viscosidad cinemática: mm<sup>2</sup>/s)

En la tabla 17 se visualiza el promedio de las viscosidades de cada grupo a las temperaturas de 40°C y 100°C los cuales se encuentran dentro del rango establecido por la norma ASTM D445 y dan origen a las siguientes figuras para una mejor interpretación visual; asimismo, también se encuentra en relación a la base lubricante obtenida en refinería.

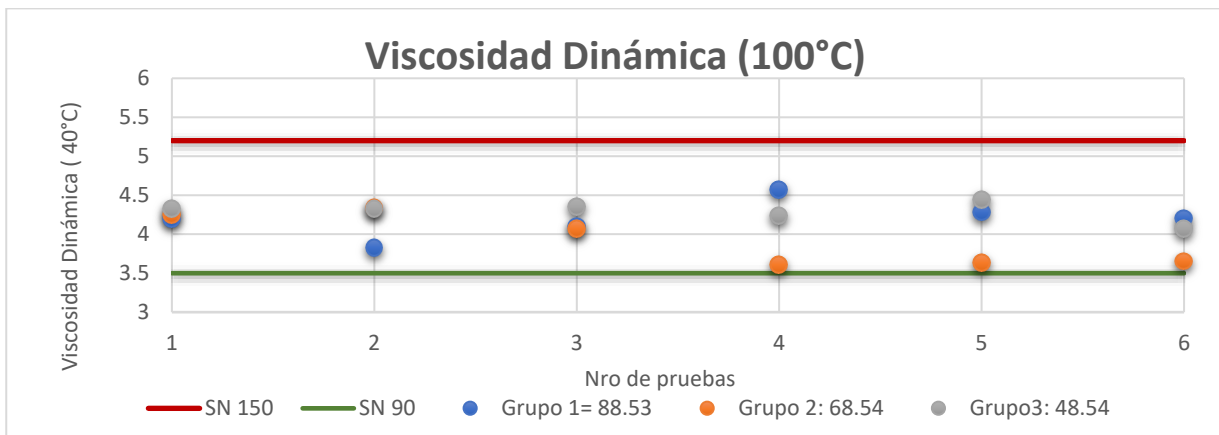
**Figura 21**

*Viscosidad Dinámica (40°C)*



**Figura 22**

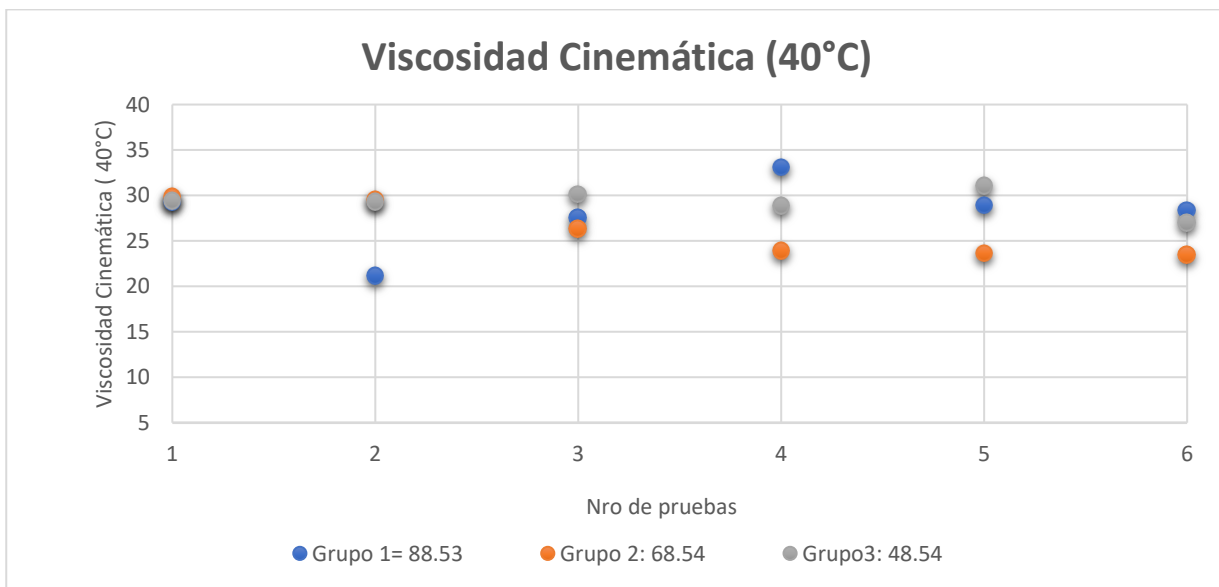
*Viscosidad Dinámica (100°C)*



En la figura 21 y 22 se aprecia las viscosidades de los condensados obtenidos, sometidos a la prueba de viscosidad a 40°C en el cual se tiene como valor máximo de 24.54 cSt y como valor mínimo 21.90 cSt, posicionándose en el rango de SN 90 - SN 150 según Repsol (2022).

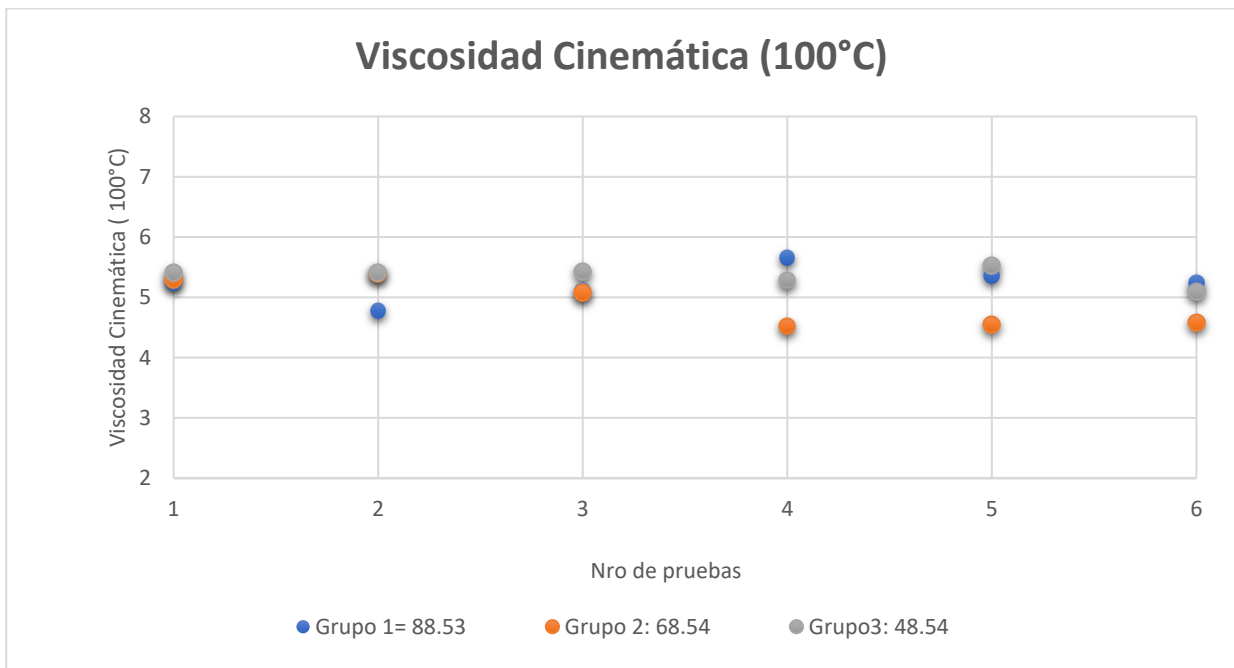
**Figura 23**

*Viscosidad Cinemática (40°C)*



**Figura 24**

*Viscosidad Cinemática (100°C)*



Las figuras 23 y 24 muestra el comportamiento las viscosidades cinemáticas a 40°C y 100°C tal como lo establece la norma ASTM D445-21 (2021), sin embargo, esto se da de forma complementaria.

- **Color ASTM**

En la siguiente tabla se muestra el número de color asignado según ASTM D1500-12 (2017) sin embargo, cabe mencionar que en el lugar de la experimentación no se cuenta con un equipo de colorimetría.

Por lo cual se verificó de forma empírica con la gama de colores prescritas en la norma anteriormente citada para una comparación visual.

**Tabla 18**

*Valores de color ASTM para cada prueba*

<b>Nro. De Pruebas</b>	<b>Presión de Vacío</b>	<b>Escala de Color</b>
1	P1= 48.54	2.00
2	P1= 48.54	2.00
3	P1= 48.54	2.00
4	P1= 48.54	2.00
5	P1= 48.54	2.00
6	P1= 48.54	2.00
1	P2=68.54	1.50
2	P2=68.54	1.00
3	P2=68.54	1.00
4	P2=68.54	1.00
5	P2=68.54	1.50
6	P2=68.54	1.00
1	P3=88.53	1.00
2	P3=88.53	1.50
3	P3=88.53	1.50
4	P3=88.53	1.00
5	P3=88.53	1.00
6	P3=88.53	1.50

Los tres principales colores obtenidos a distintas presiones se muestran en la figura 25, posicionándose en las primeras tres gamas de colores de la tira presente en la ASTM D1500-12 (2017)

Asimismo, se logra visualizar el color inicial del aceite lubricante usado, ubicándose en la escala 8.0 y última posición de la tira de color.

**Figura 25**

*Gama de colores obtenidos en el destilado al vacío.*

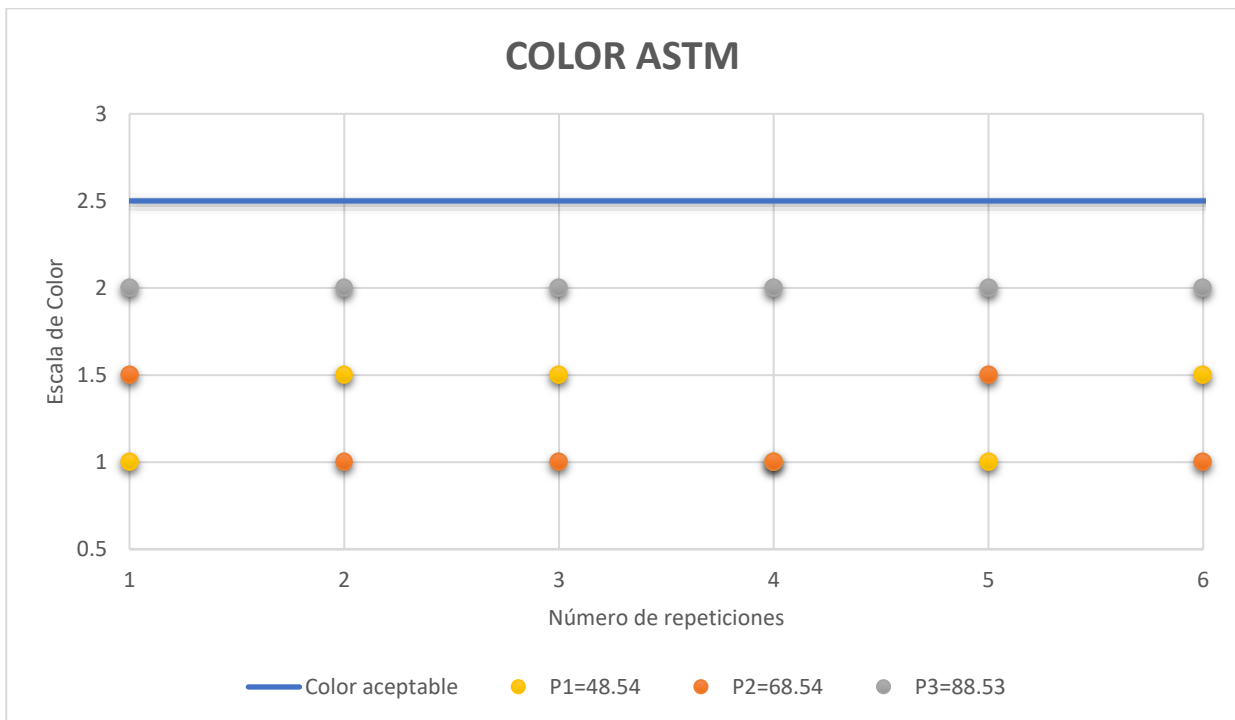


Los colores obtenidos según las presiones de vacío empleadas se visualizan de izquierda a derecha, siendo la muestra más clara la obtenida a 88.53mmHg, la siguiente es la obtenida a 68.54mmHg y la última que se encuentra a la derecha es la obtenida a 48.54mmHg la cual tiene un color más cobrizo que los anteriores, esto debido al arrastre que se genera a mayor presión con la bomba de vacío.

Por otro lado, los colores de los condensados obtenidos se encuentran dentro del rango de gammas permisibles de bases lubricantes según (REPSOL, 2017), los cuales se muestran en el gráfico a continuación.

**Figura 26**

*Comportamiento del color según la presión*



La figura 24 muestra el comportamiento de la variación del color obtenido en cada una de las muestras sometidas a distintas presiones de vacío, teniendo como referencia el rango de tipo SN de base lubricante en el que se encuentra los condensados obtenidos siendo la SN 300 el valor máximo del rango con una escala de color menor a 2.5.

- **Contenido de metales**

Se analizó el residuo obtenido de las muestras destiladas en el Analizador XRF (Fluorescencia de rayos X) portátil, obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 19***Contenido de metales en el residual*

<b>CONTENIDO DE METALES</b>		
<b>Elementos metálicos</b>	<b>(ppm)</b>	<b>porcentaje (%)</b>
Cobre (Cu)	1109.00	0.11
Hierro (Fe)	2119.00	0.21
Manganeso (Mn)	62.00	0.01
Titanio (Ti)	130.00	0.01
Calcio (Ca)	32730.00	3.27
Azufre (S)	24430.00	2.44
Fosforo (P)	15880.00	1.59
Aluminio (Al)	1710.00	0.17
Magnesio (Mg)	5300.00	0.53
LE	896000.00	89.60
Plomo (Pb)	31.00	0.00
Molibdeno (Mo)	1396.00	0.14
Zinc (Zn)	17380.00	1.74
<b>Total</b>		<b>100.00</b>

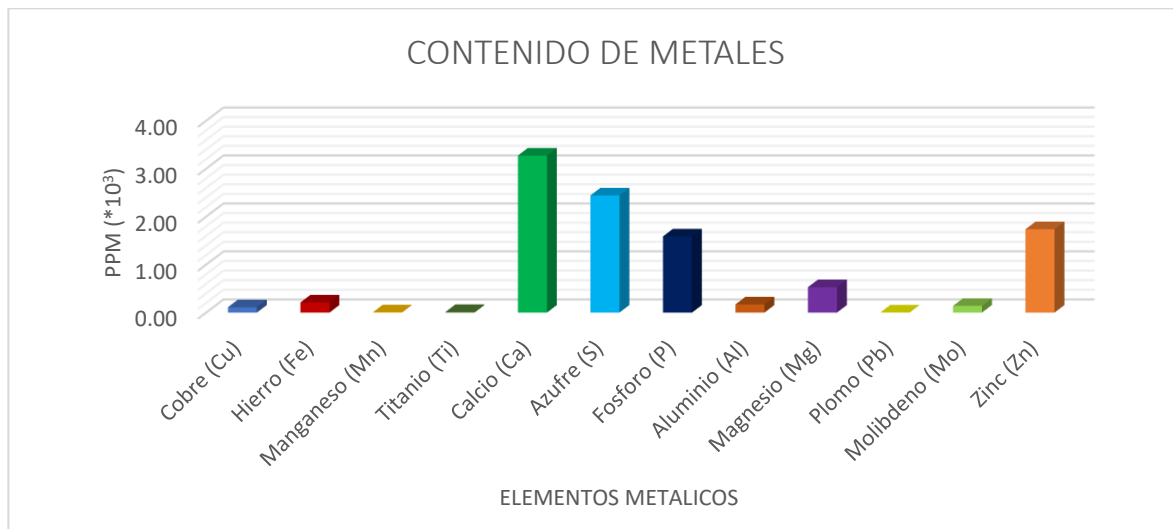
*Nota:* LE (Light Elements o elementos livianos en su traducción, como el C e H<sub>2</sub>) no detectados por el Analizador XRF.

La tabla 19 muestra los datos arrojados por el Analizador XRF (Fluorescencia de rayos X) portátil, en el cual se visualiza las siglas LE la cual representa a componentes no identificados en la muestra; sin embargo, se sabe que el aceite lubricante usado en una mezcla de hidrocarburos con impurezas

Por lo tanto, se podría afirmar que el 89.6% del residuo analizado se compone por hidrocarburos e impurezas como hollín y partículas suspendidas.

**Figura 27**

*Gráfica de columnas – Contenido de metales*



*Nota.* La figura 27 muestra un gráfico de columnas donde se aprecia el contenido de metales presentes en los residuos de las muestras, sin embargo, no se consideró LE ya que se hace mención a otro tipo de componentes, tal como; hidrocarburos, hollín y partículas suspendidas como el polvo

Asimismo, se observa que el elemento presente en mayor cantidad es el calcio, según Fong Silva, Quiñonez Bolaños y Tejada Tovar (2017) la presencia de este elemento puede atribuirse a los aditivos detergentes empleados para neutralizar los ácidos presentes en el aceite lubricante, de este modo se observa que el contenido de calcio presente en la muestra es superior al artículo de referencia.

Por otro lado, componentes en mayor cantidad, como el azufre, fósforo, magnesio y zinc también son provenientes de aditivos empleados a excepción del azufre que se puede atribuir al azufre presente en los combustibles, reacciona con la humedad presente en el sistema generando ácidos orgánicos y compuestos azufrados (Fong Silva, Quiñonez Bolaños, & Tejada Tovar, 2017).



Por lo tanto, se logró determinar y comparar las propiedades fisicoquímicas de la base lubricante recuperada frente a una base lubricante nueva, contrastando lo siguiente:

**Tabla 20**

*Tabla comparativa (Aceite base recuperado – Aceite base nuevo)*

<b>Propiedades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Aceite base recuperado</b>	<b>Aceite base SN 100</b>	<b>Aceite base SN 145</b>	<b>Aceite base SN 150</b>
Densidad 15°C	g/ml	0.8536 - 0.8547	0.87	0.865	0.875
Viscosidad 100 °C	cSt	3.525 - 4.5683	4.2	4.9	5.2
Viscosidad 40 °C	cSt	20.921 -27.957	>20.5	27	32
Índice de viscosidad	-	101.42 - 123.89	>95	>100	>98
Punto de inflamación	°C	198	>185	>190	>200
Color	-	1 – 2	<1.5	1	<1.5

Acorde a la tabla comparativa 17 se tiene que, las propiedades obtenidas se encuentran dentro del rango para aceites bases SN100-SN150, por ende, se podría emplear esta base lubricante para la elaboración de aceites lubricantes nuevos de grado comercial.

#### **4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE VACIO Y TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO.**

Los datos obtenidos durante las pruebas de destilación a distintas presiones y temperaturas fueron procesados estadísticamente en el programa de Matlab para cada variable de respuesta, proporcionando datos de media, varianza y desviación estándar; asimismo, permite comprobar las diferencias significativas de la data recolectada.

- **Modelo de regresión lineal**

El rendimiento total de las pruebas a distintas presiones de vacío se muestra en la tabla 19, los cuales fueron analizados estadísticamente en Matlab.

Los rendimientos parciales en los cortes de temperaturas establecidos según bibliografía y experimentación durante el proceso de destilación al vacío se pueden apreciar en la tabla 18.

**Tabla 21**

*Rendimiento total obtenido a distintas presiones*

<b>RENDIMIENTO TOTAL (mL) - PRESIÓN</b>			
<b>N° de Pruebas</b>	<b>PRESIÓN (mmHg)</b>		
	<b>P1= 48.54</b>	<b>P2=68.54</b>	<b>P3=88.53</b>
1	84	90	85
2	85	85	86
3	84	85	90
4	84	87	85
5	85	86	85
6	80	90	86

Para obtener resultados más certeros en el análisis de varianza ANOVA se realizaron 6 repeticiones a las 3 diferentes presiones de vacío propuestas, tomando datos de rendimiento a los 3 cortes de temperatura propuestos en base a los antecedentes consultados.

**Tabla 22***Rendimiento parcial obtenido a distintos rangos de temperatura*

<b>RENDIMIENTO PARCIAL (mL) - TEMPERATURA</b>				
<b>N° de Pruebas</b>	<b>PRESIÓN (mmHg)</b>	<b>TEMPERATURAS (°C)</b>		
		<b>T1= 350</b>	<b>T2= 365</b>	<b>T3= 380</b>
1	P1= 48.54	26.25	52.86	70.77
2	P1= 48.54	25.00	50.00	70.00
3	P1= 48.54	50.00	68.89	82.86
4	P1= 48.54	62.73	77.00	84.62
5	P1= 48.54	58.75	75.83	83.85
6	P1= 48.54	50.00	70.77	81.80
1	P2=68.54	51.65	68.13	82.65
2	P2=68.54	30.00	52.50	69.00
3	P2=68.54	31.67	50.00	71.43
4	P2=68.54	37.50	63.13	72.86
5	P2=68.54	28.75	52.86	71.25
6	P2=68.54	42.50	60.83	72.35
1	P3=88.53	42.86	60.83	72.67
2	P3=88.53	25.00	50.00	68.00
3	P3=88.53	28.75	48.75	67.78
4	P3=88.53	37.14	56.67	70.00
5	P3=88.53	42.50	59.00	70.83
6	P3=88.53	38.33	61.43	76.92

A continuación, se muestra los promedios de los rendimientos parciales tomados a distintas temperaturas y presiones para el análisis estadístico ANOVA.

**Tabla 23***Promedio de rendimiento en base a las presiones y temperaturas.*

<b>PROMEDIOS DE RENDIMIENTOS</b>		
<b>PRESION</b>	<b>TEMPERTURA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>
48.54	350	40.870
48.54	365	60.466
48.54	380	73.656
68.64	350	37.952
68.64	365	58.574
68.64	380	73.446
88.53	350	45.455
88.53	365	65.891
88.53	380	78.981

En la tabla 24 se observa las estadísticas obtenidas de Minitab, en el cual se observa que el  $R^2$  posee una confiabilidad del 95% lo cual indica que el modelo lineal se ajusta bien a nuestro modelo de datos.

**Tabla 24**

*Estadísticas de la regresión*

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.983622515
Coeficiente de determinación $R^2$	0.967513252
$R^2$ ajustado	0.956684336
Error típico	3.144066033
Observaciones	9

**Tabla 25**

*Datos de análisis de varianza*

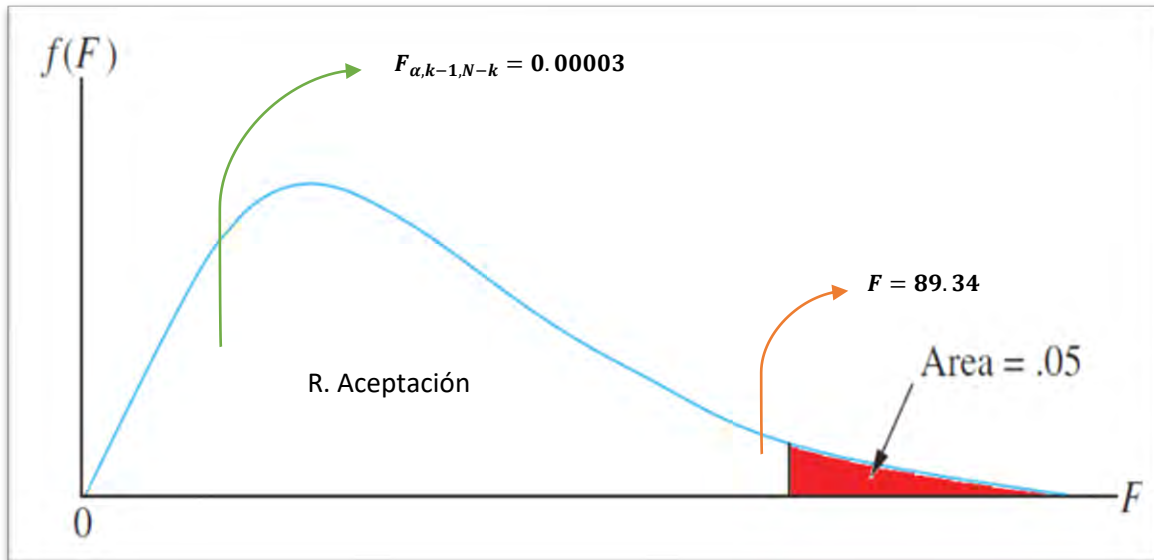
**ANÁLISIS DE  
VARIANZA**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	1766.38	883.19	89.34	0.00003429
Residuos	6	59.31	9.8852		
Total	8	1825.69			

En la tabla 25 se muestran los valores de F y el valor crítico de F, por lo cual teóricamente según de la Fuente Fernández (2019), cuando el valor de  $F_{\alpha, k-1, N-K} < F$ , se encuentra dentro de la región de aceptación; por lo tanto, estadísticamente la hipótesis nula es aceptada.

**Figura 28**

Región de aceptación y región de rechazo en función al F y F crítico



En la figura 28 se muestra como el valor de  $F_{\alpha, k-1, N-k}$  se encuentra dentro la región de aceptación, por lo tanto, la hipótesis no es rechazada.

Del análisis estadístico realizado el valor p obtenido para la presión es mayor a 0.05 lo cual conlleva a aceptar la hipótesis nula, el cual indicaría que la presión no tiene efecto significativo en el rendimiento. [\(ver apéndice 1\)](#).

**Tabla 26**

*Datos de intercepción*

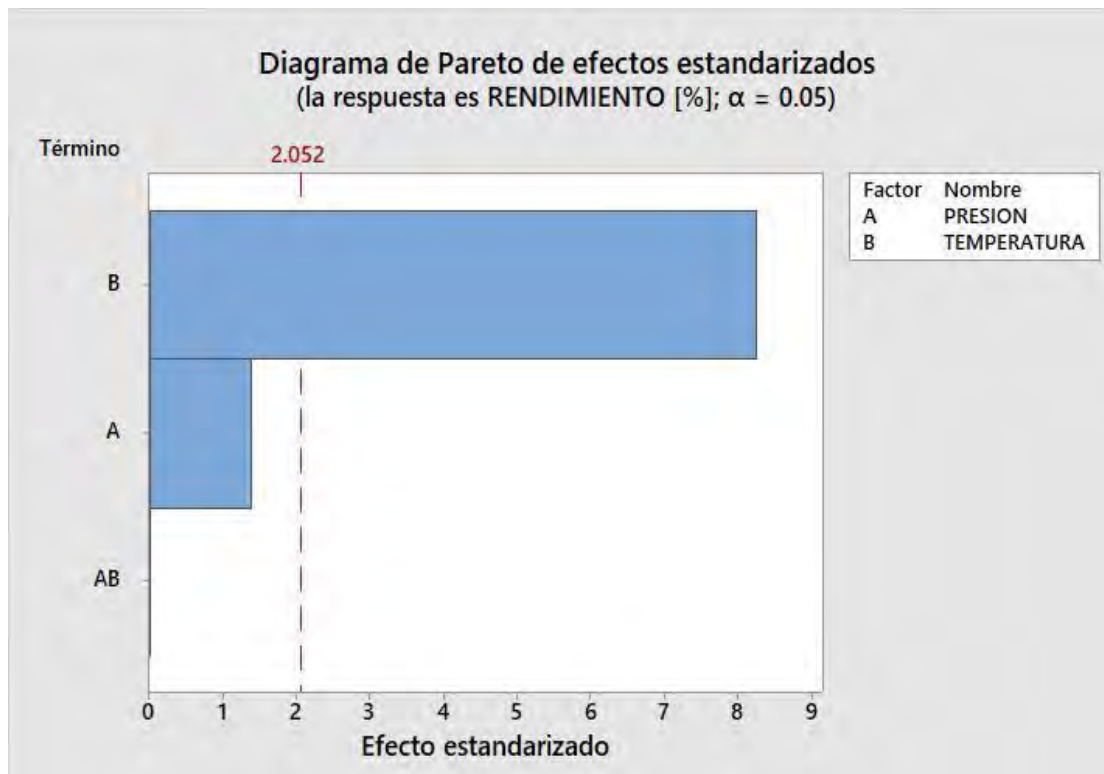
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-362.143	31.559	-11.475	0.00003	-439.36	-284.9	-439.36	-284.92
Presión	0.12745	0.064	1.98542	0.09431	-0.02963	0.2845	-0.0296	0.2845
Temperatura	1.13118	0.086	13.21926	0.00001	0.92180	1.3405	0.9218	1.3405

Para la validación de los resultados, también se realizó el análisis de varianza en el software Matlab tal como se muestra en la tabla 26, obteniendo los mismos resultados;

asimismo, la probabilidad en cuanto a la temperatura es menor a alfa (0.05), lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula, aceptando la alterna lo cual implicaría que la temperatura es estadísticamente significativa, por lo tanto, tiene influencia significativa sobre el rendimiento.

**Figura 29**

*Diagrama de Pareto – Temperatura vs Presión*

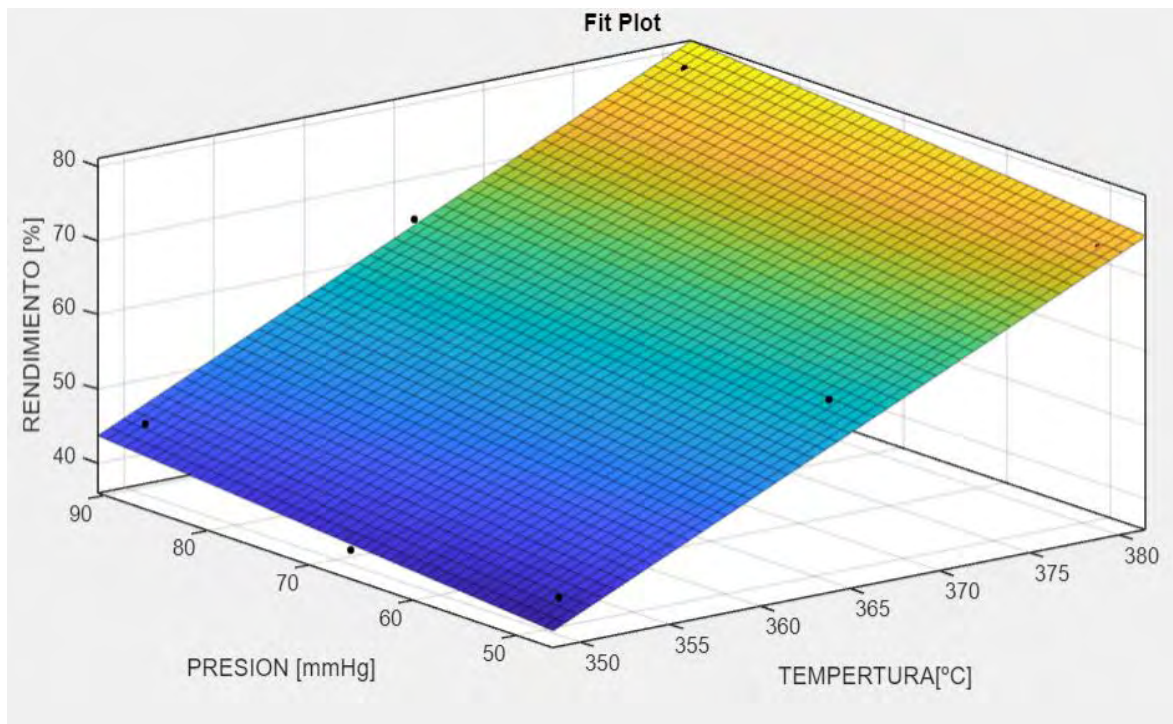


*Nota.* El análisis estadístico realizado muestra como la temperatura tiene mayor influencia que la presión sobre el rendimiento, el cual se aprecia mejor visualmente en la figura 30.

Por otro lado, se realizó las gráficas de superficie para una mejor interpretación de la influencia de la presión y temperatura sobre el rendimiento como variable de respuesta.

**Figura 30**

*Gráficas de superficie - Influencia de la presión y temperatura.*



La figura 31 muestra la gráfica de superficie de una vista 3D en la cual se observa que el rendimiento óptimo se da a mayor temperatura y a menor presión de vacío, sin embargo, el análisis de calidad posterior también influirá en el rendimiento óptimo del proceso.

Por lo tanto, el modelo de regresión lineal se da por la siguiente ecuación obtenida en Matlab:

$$\text{Rendimiento}[\%] = -362.1 + 0.1275 * P + 1.1312 * T \quad \text{Ec. 6}$$

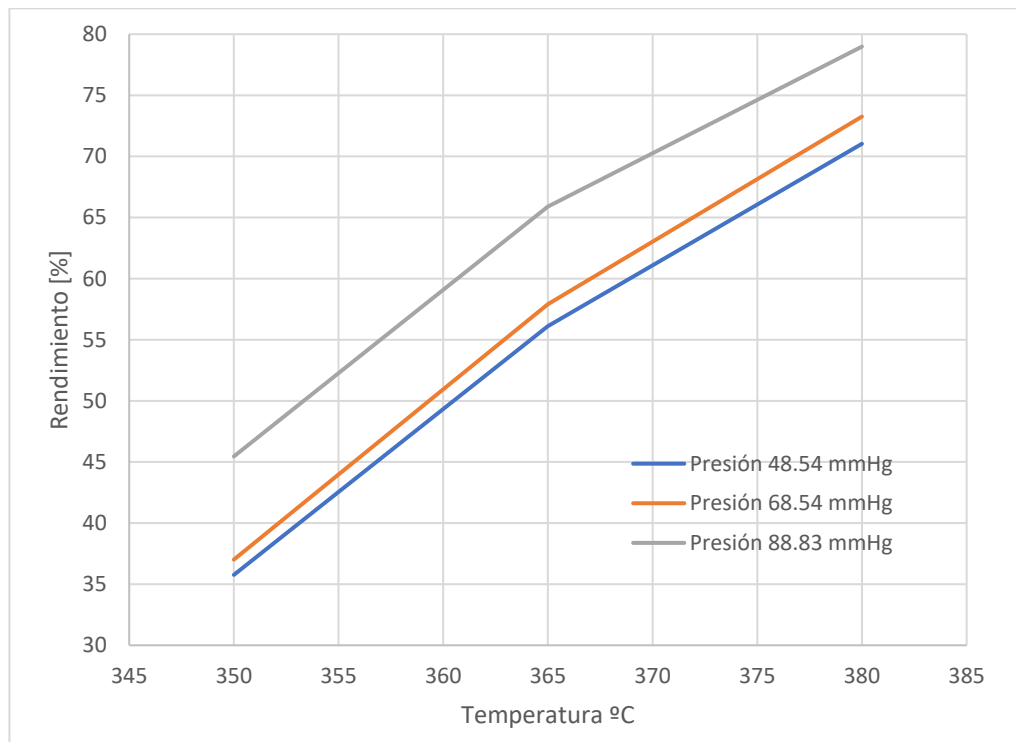
Limites:

- 0 – 100 mmHg
- 315 °C < T < 400 °C
- **ANOVA Presión – Rendimiento**

Por otro lado, la temperatura y presión interactúan con el rendimiento, por lo que se tiene una influencia directa de ambos.

**Figura 31**

*Gráficas de interacción Presión – Rendimiento*



La grafica de interacción visualizada en la figura 29 muestra como no hay una variación significativa en la media de los rendimientos a distintas presiones.

Por lo tanto, se obtuvo una mejor purificación del aceite sometiendo las muestras a menor presión de vacío, puesto que a mayor presión de vacío se presenta mayor arrastre de impurezas haciendo que la coloración de la base lubricante recuperada se torne más oscura.

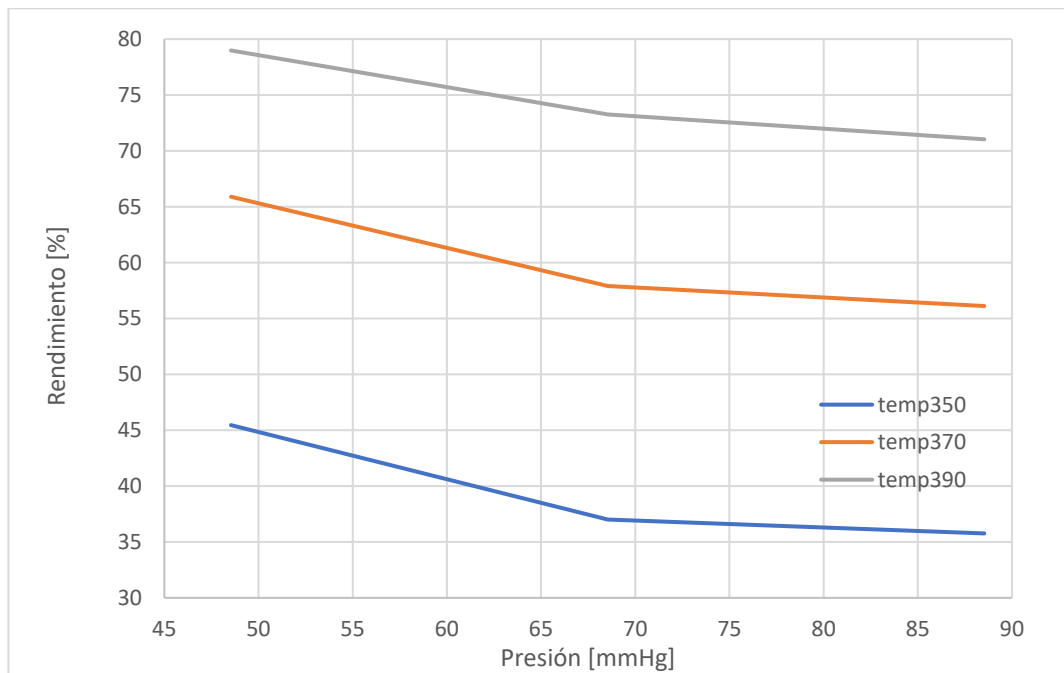
- **ANOVA Temperatura – Rendimiento**

La figura 33 nos muestra como las pruebas a distintos rangos de temperatura poseen poca variación en cuanto al rendimiento, por lo cual, las pruebas realizadas en el rango de 350 °C muestran menor variación en cuanto al condensado obtenido.



**Figura 32**

*Gráficas de interacción Temperatura – Rendimiento*



Por lo tanto, se observó que mientras la temperatura de destilación va incrementando por encima de 390°C se obtiene un mejor rendimiento, sin embargo, el grado de purificación disminuye por el arrastre de impurezas

Sin embargo, los rendimientos y purificación obtenidos en los cortes 350°C, 365°C y 380°C poseen un color similar a las bases lubricantes SN100, SN145 y SN150 lo cual las posiciona dentro un rango aceptable según Repsol (2017). Asimismo, poseen rendimientos superiores que las referencias.

- **Análisis estadístico del índice de viscosidad**

Mediante el análisis de varianza y a través del diagrama de Pareto se observa que la presión y temperatura no tienen efecto sobre el índice de viscosidad incluida la interacción de ambas variables independientes.

**Tabla 27**

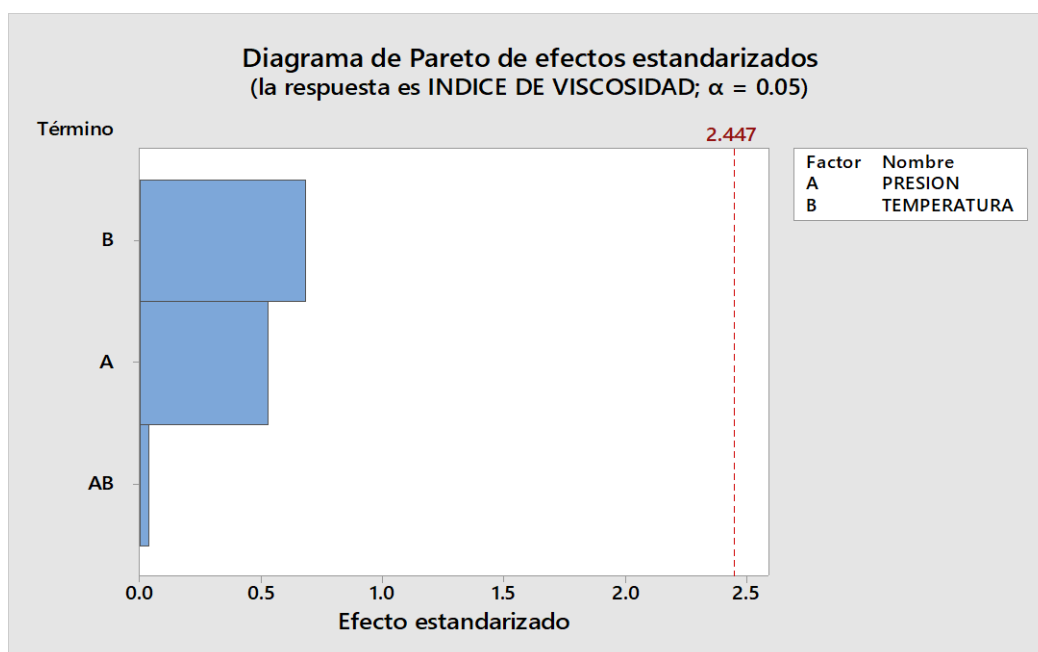
*Análisis de varianza – Índice de viscosidad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	76.02	15.204	0.32	0.886
Lineal	3	73.167	24.389	0.51	0.691
PRESION	2	50.563	25.281	0.53	0.616
TEMPERATURA	1	22.604	22.604	0.47	0.518
Interacciones de 2 términos	2	2.854	1.427	0.03	0.971
PRESION*TEMPERATURA	2	2.854	1.427	0.03	0.971
Error	6	288.094	48.016		
Total	11	364.114			

El diagrama de Pareto muestra de mejor manera el comportamiento poco significativo de la presión y temperatura frente a la viscosidad.

**Figura 33**

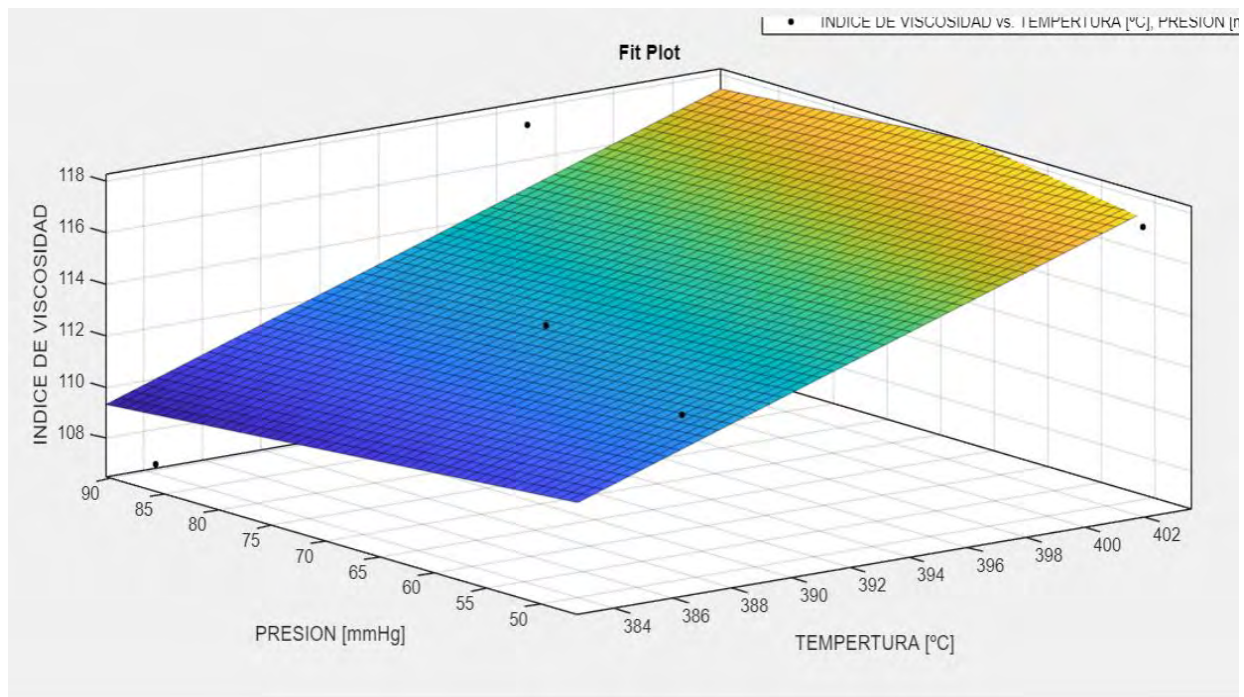
*Diagrama de Pareto – Índice de viscosidad*



La variación del índice de viscosidad se muestra en el siguiente gráfico a diferentes presiones de vacío y a la máxima temperatura experimentadas, se observa que el máximo índice de viscosidad se obtiene en el rango de temperatura de 398°C a 402°C y una presión de vacío de 48.54 mmHg.

**Figura 34**

*Gráfica de superficie - índice de viscosidad*



*Nota.* Esto es debido a que cuando se llega a temperaturas más elevadas durante la destilación ebulen hidrocarburos más pesados, de cadena de carbono  $C_{25}$ - $C_{30}$ , los cuales incrementan el índice de viscosidad del aceite base recuperado (Botello, Rendón von Osten, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernandez, 2005).

- **Análisis estadístico de la viscosidad dinámica a 40°C**

Se realizó el análisis de varianza para evaluar la influencia de la presión y temperatura, en el cual se determinó que las dichas variables independientes no poseen influencia sobre esta propiedad fisicoquímica.

**Tabla 28**

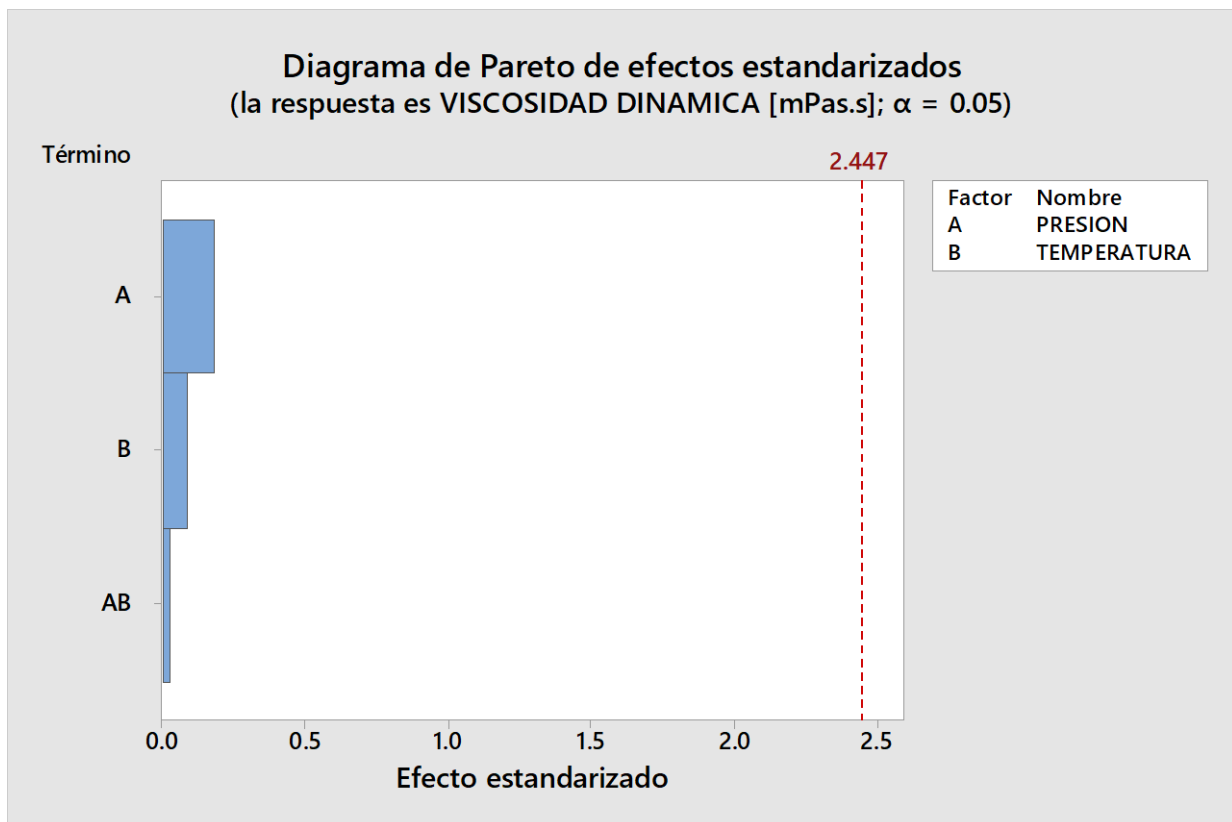
*Análisis de varianza – Viscosidad dinámica*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	5.4398	1.0880	0.07	0.995
Lineal	3	4.7481	1.5827	0.1	0.955
PRESION	2	4.6329	2.3164	0.15	0.863
TEMPERATURA	1	0.1152	0.1152	0.01	0.934
Interacciones de 2 términos	2	0.6916	0.3458	0.02	0.978
PRESION*TEMPERATURA	2	0.6916	0.3458	0.02	0.978
Error	6	91.6734	15.2789		
Total	11	97.1132			

El diagrama de Pareto muestra de mejor manera el comportamiento poco significativo de la presión y temperatura frente a la viscosidad.

**Figura 35**

*Diagrama de Pareto – Viscosidad Dinámica*

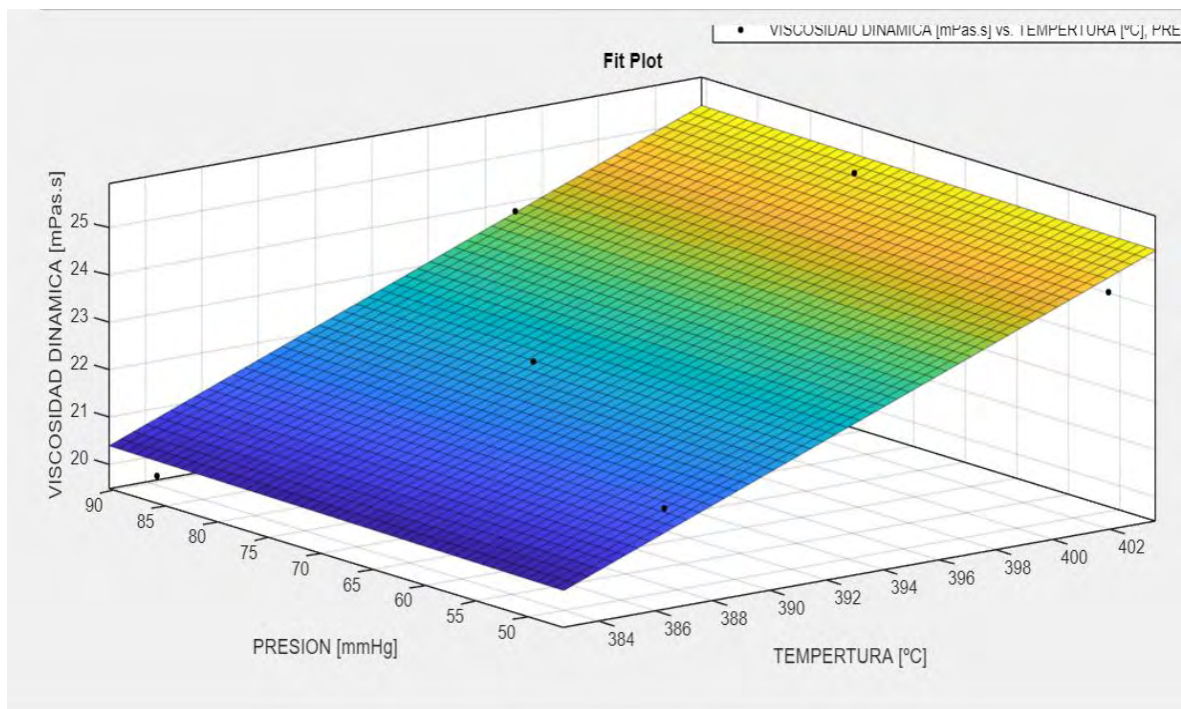


Por otro lado, el comportamiento de la viscosidad dinámica frente a las diferentes presiones de vacío y a las temperaturas máximas experimentadas, se da mediante un claro incremento, ya que se observa que la mayor viscosidad dinámica se obtiene en los rangos de temperatura de 400°C a 402° sin importar la presión de vacío.

Esto es debido a que cuando se llega a temperaturas más elevadas durante la destilación ebulen hidrocarburos más pesados, de cadena de carbono C<sub>25</sub>-C<sub>30</sub>, los cuales incrementan el índice de viscosidad del aceite base recuperado.

**Figura 36**

*Gráfica de superficie - viscosidad dinámica*



- **Análisis estadístico de la viscosidad cinemática a 40°C**

En el análisis de varianza realizado la presión y temperatura no posee efecto o influencia sobre esta propiedad fisicoquímica.

**Tabla 29**

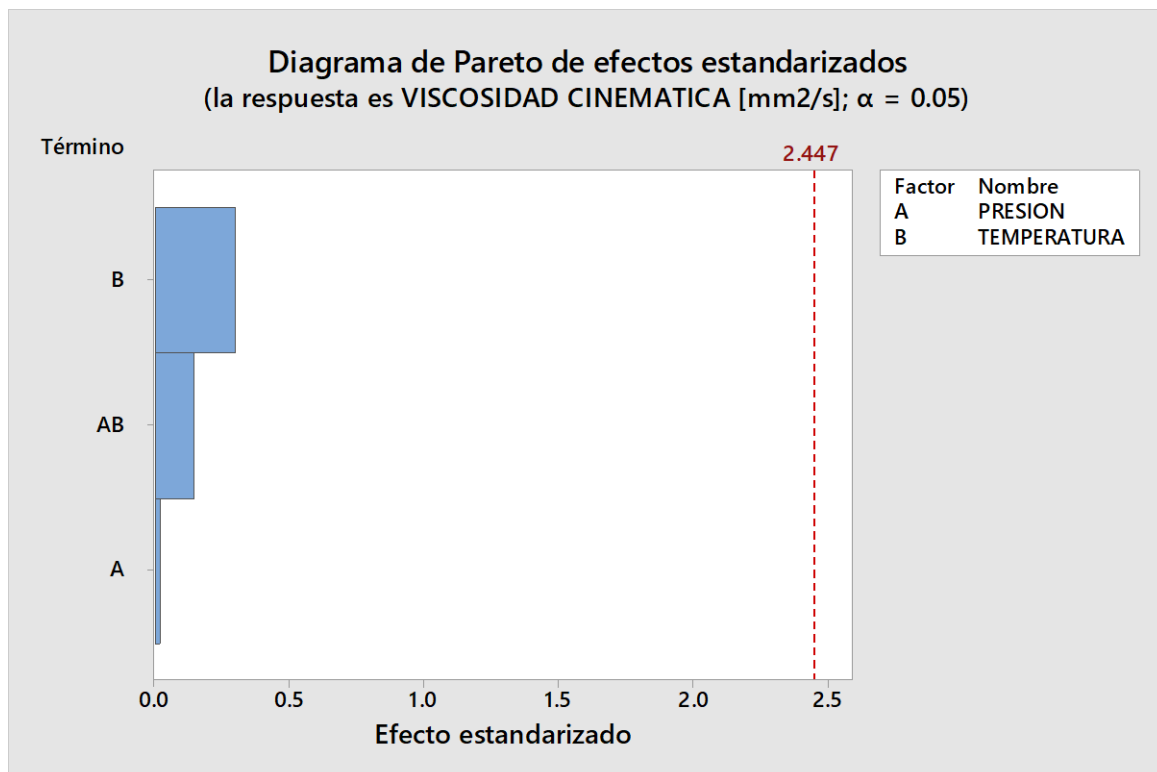
*Análisis de varianza – Viscosidad cinemática*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	9.206	1.8411	0.07	0.994
Lineal	3	3.071	1.0237	0.04	0.988
PRESION	2	0.767	0.3836	0.02	0.985
TEMPERATURA	1	2.304	2.3039	0.09	0.774
Interacciones de 2 términos	2	6.134	3.0672	0.12	0.889
PRESION*TEMPERATURA	2	6.134	3.0672	0.12	0.889
Error	6	153.136	25.5227		
Total	11	162.341			

El diagrama de Pareto muestra de mejor manera el comportamiento poco significativo de la presión y temperatura frente a la viscosidad cinemática.

**Figura 37**

*Diagrama de Pareto – Viscosidad Cinemática*

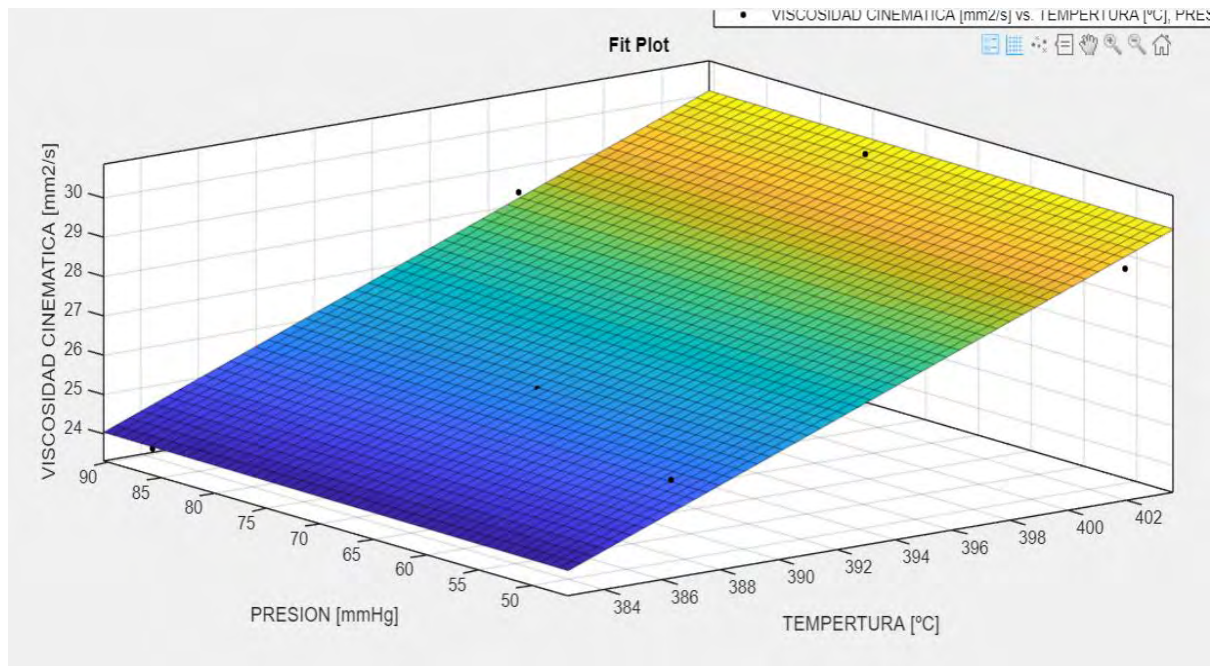


Por otro lado, se observó que la mayor viscosidad cinemática se obtiene en los rangos de temperatura de 400°C a 402° sin importar la presión de vacío. Esto es debido a que cuando se

llega a temperaturas más elevadas durante la destilación ebulen hidrocarburos más pesados, de cadena de carbono C<sub>22</sub> a C<sub>30</sub> según Montoro Moreno (2005), los cuales incrementan el índice de viscosidad del aceite base recuperado.

**Figura 38**

*Gráfica de superficie - Viscosidad Cinemática*



*Nota.* En la figura 38 se observa la variación de la viscosidad cinemática a las diferentes presiones de vacío y a la máxima temperatura experimentadas.

- **Análisis estadístico del color**

En el análisis de varianza realizado se obtiene un contraste significativo en cuanto al efecto de la presión en el color ASTM, comprobando lo observado visualmente durante la experimentación; que, a mayor vacío, se dará un mayor arrastre de vapores pesados lo cual oscurecerá el destilado obtenido.

**Tabla 30**

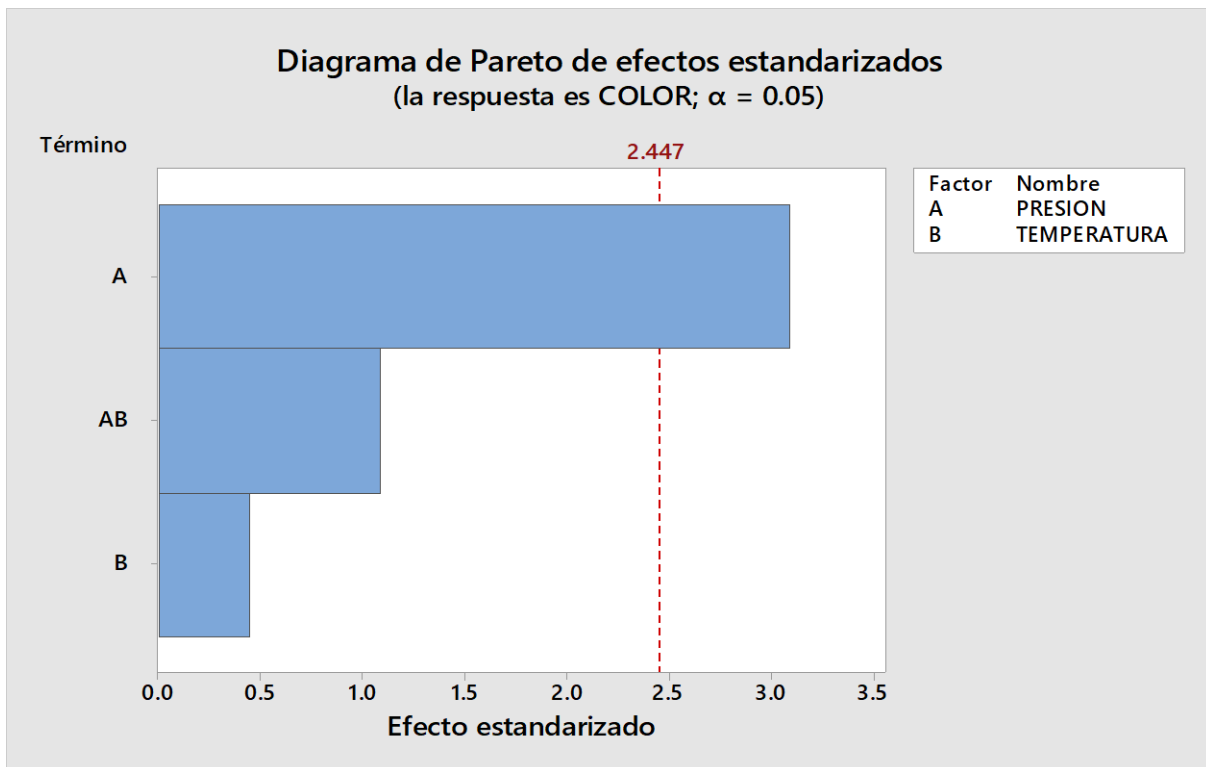
*Análisis de varianza – Color ASTM*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1.9375	0.3875	3.72	0.07
Lineal	3	1.64583	0.54861	5.27	0.041
PRESION	2	1.625	0.8125	7.8	0.021
TEMPERATURA	1	0.02083	0.02083	0.2	0.67
Interacciones de 2 términos	2	0.29167	0.14583	1.4	0.317
PRESION*TEMPERATURA	2	0.29167	0.14583	1.4	0.317
Error	6	0.625	0.10417		
Total	11	2.5625			

El diagrama de Pareto muestra de mejor forma la influencia significativa que ejerce la presión de vacío sobre el color ASTM.

**Figura 39**

*Diagrama de Pareto – Color ASTM*



En la figura 39 se muestra la variación del color a las diferentes presiones de vacío y a la máxima temperatura experimentadas, se observa que la coloración más oscura se obtiene

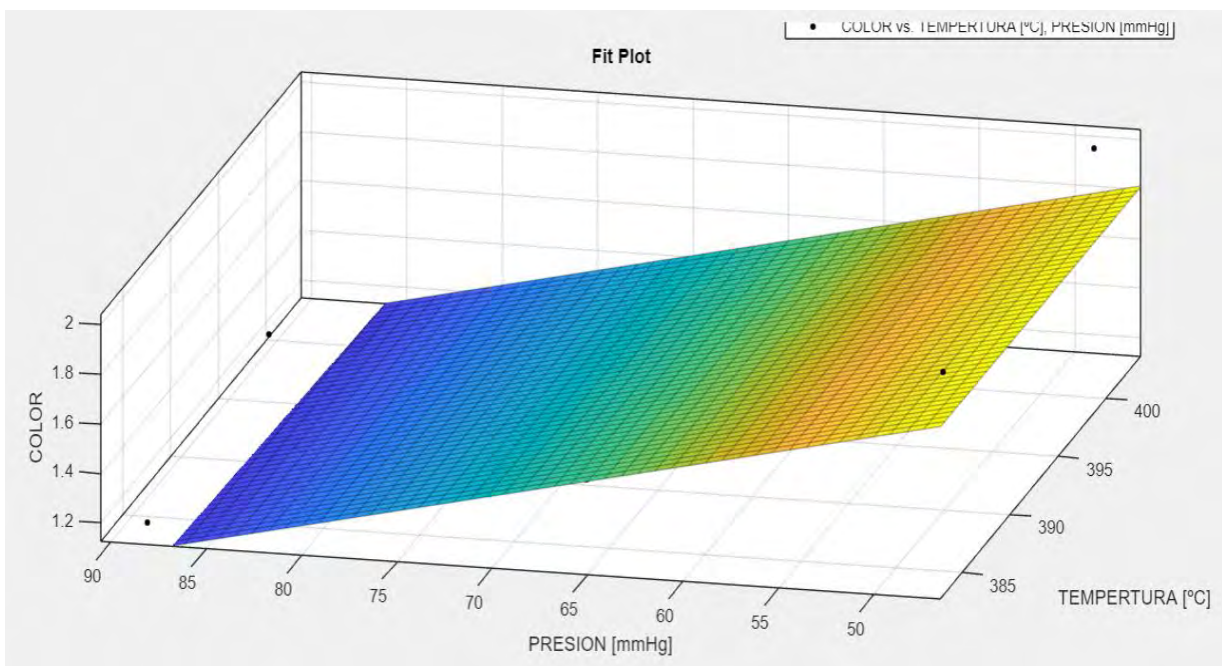


cuando se trabaja a mayor vacío 48.54 mmHg sin importar la temperatura máxima a la que se trabajó.

Esto se debe a que, mientras más vacío se generó en el sistema la bomba succiona con más fuerza los vapores generados en el balón de destilación arrastrando mayor cantidad de impurezas.

**Figura 40**

*Gráfico de superficie - Color ASTM*



- **Análisis estadístico de contenido de agua**

El análisis estadístico nos muestra que la interacción de la presión y temperatura poseen influencia sobre el contenido de agua; sin embargo, esto depende más de la forma en la que se almacena los aceites lubricantes usados en los lubricentros; puesto que, un aceite lubricante nuevo no posee agua en su composición.

**Tabla 31**

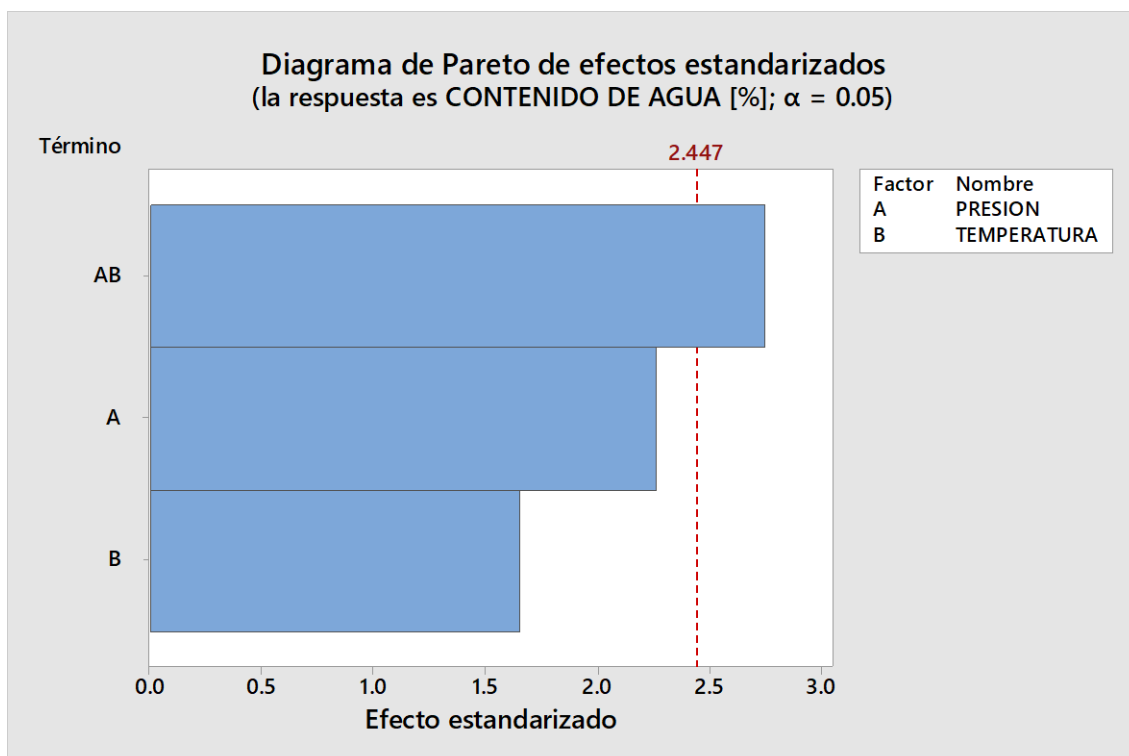
*Análisis de varianza – Contenido de agua*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.000145	0.000029	4.87	0.04
Lineal	3	0.00007	0.000023	3.9	0.073
PRESION	2	0.000054	0.000027	4.49	0.064
TEMPERATURA	1	0.000016	0.000016	2.72	0.15
Interacciones de 2 términos	2	0.000075	0.000038	6.31	0.033
PRESION*TEMPERATURA	2	0.000075	0.000038	6.31	0.033
Error	6	0.000036	0.000006		
Total	11	0.000181			

El diagrama de Pareto muestra de mejor forma la influencia que ejerce la presión de vacío y la temperatura sobre el color ASTM.

**Figura 41**

*Diagrama de Pareto – Contenido de agua*

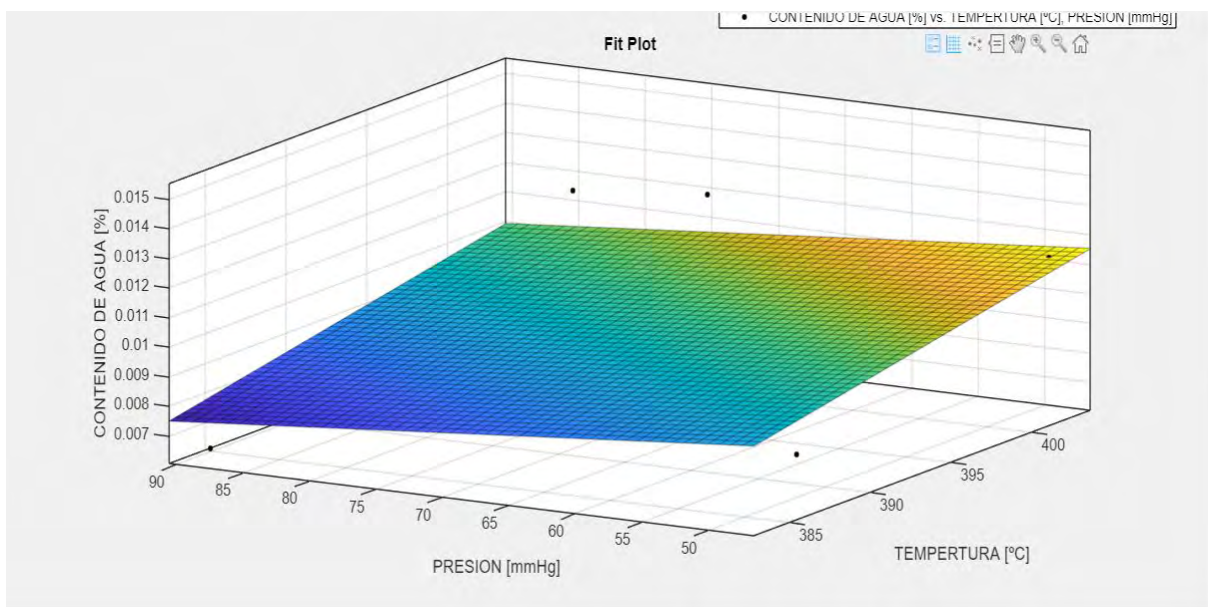


En la figura 41 se muestra la variación del contenido de agua a las diferentes presiones de vacío y a la máxima temperatura experimentadas, se observa que el contenido de agua más elevado se obtiene cuando se trabaja a mayor presión de vacío 48.64 mmHg y a mayores temperaturas.

Esto puede deberse a que las muestras analizadas a 48.54mmHg fueron las ultimas en destilarse; por ende, se sabe que el agua es más densa que los hidrocarburos por ello tienen a irse al fondo del recipiente donde se homogenizó la muestra.

**Figura 42**

*Gráfica de superficie – Contenido de agua*



- **Análisis estadístico de la gravedad API**

El análisis estadístico realizado muestra como la presión de vacío y la temperatura no tienen influencia sobre la gravedad API; por lo tanto, no posee significancia sobre esta propiedad fisicoquímica.

**Tabla 32**

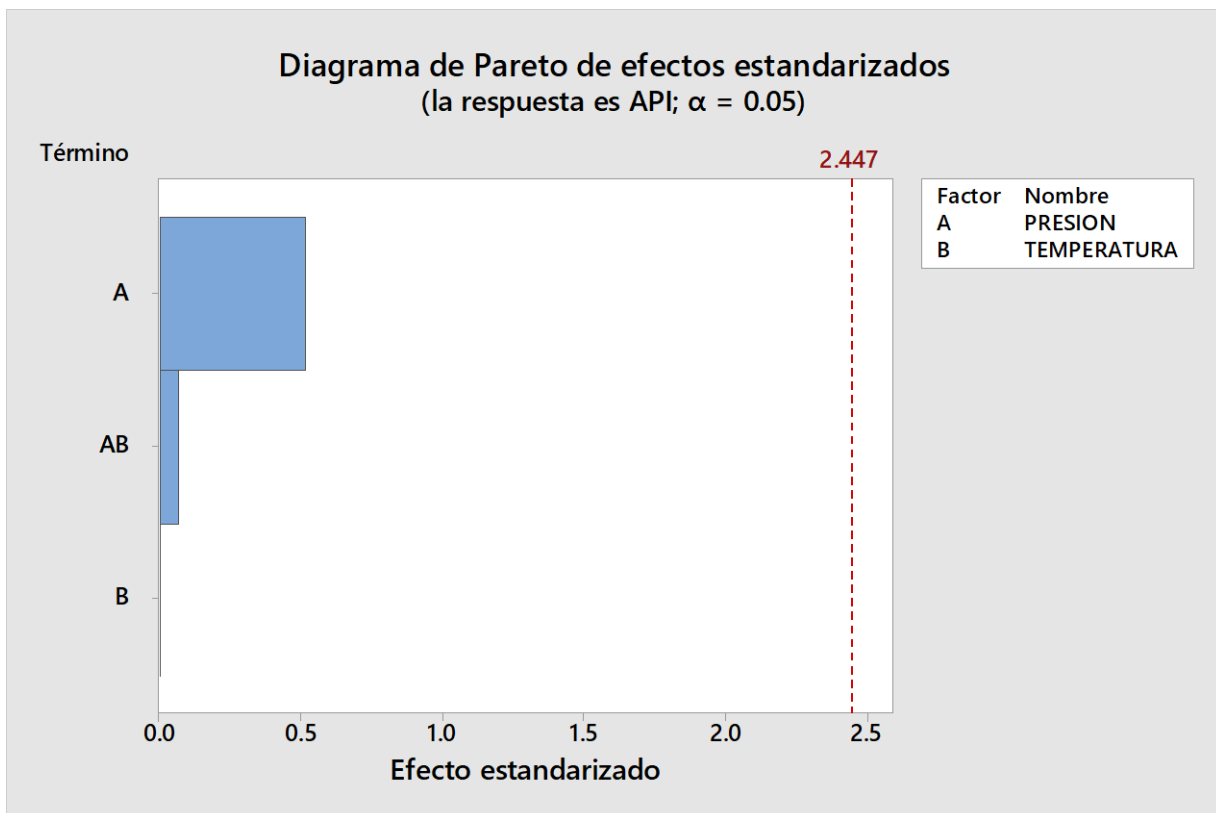
*Análisis de varianza – Gravedad API*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.34287	0.068573	0.23	0.938
Lineal	3	0.31072	0.103572	0.34	0.796
PRESION	2	0.31072	0.155358	0.51	0.622
TEMPERATURA	1	0	0	0	1
Interacciones de 2 términos	2	0.03215	0.016075	0.05	0.949
PRESION*TEMPERATURA	2	0.03215	0.016075	0.05	0.949
Error	6	1.815	0.3025		
Total	11	2.15787			

El diagrama de Pareto muestra de mejor manera el comportamiento poco significativo de la presión y temperatura frente a la gravedad API

**Figura 43**

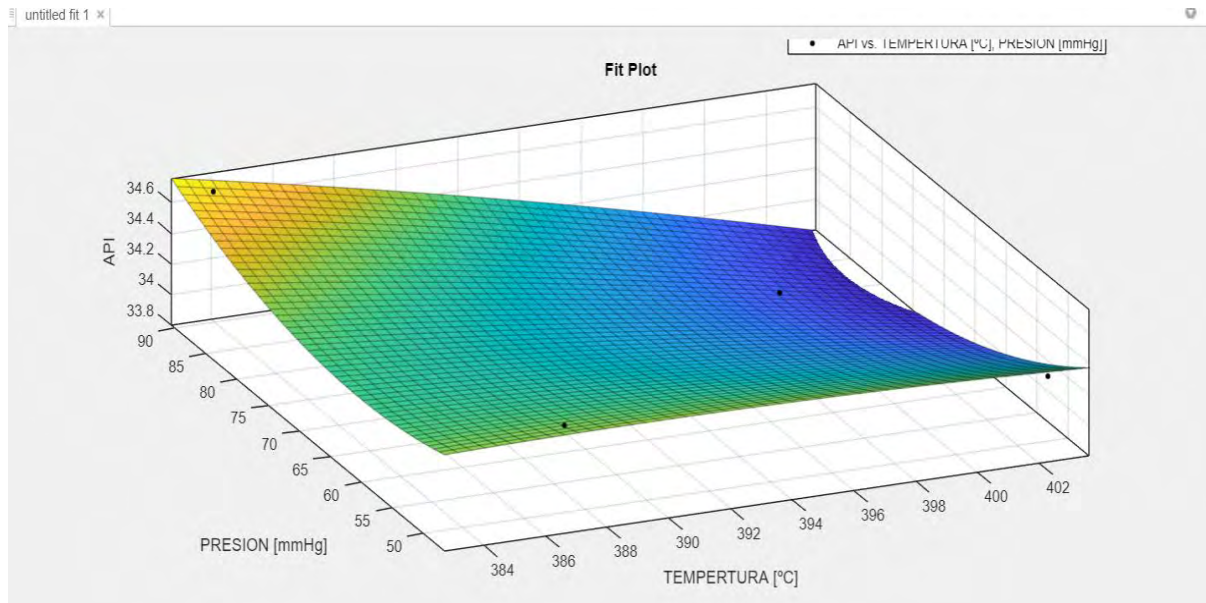
*Diagrama de Pareto – Gravedad API*



En la gráfica de superficie mostrada en la figura 45 se observa la variación de la gravedad API a las diferentes presiones de vacío trabajadas, la mayor variabilidad de la gravedad API se observa a menor vacío, y temperaturas bajas en un rango de 350°C a 386°C.

**Figura 44**

*Gráfica de superficie - Gravedad API*



El modelo cuadrático se guía mediante la siguiente ecuación:

$$^{\circ}API = -33.9898 + 0.3153 * T + 0.3228 * P - 0.0003 * T^2 - 0.001 * P * T + 0.00004 * P^2$$

Esto se debe a que la gravedad API depende de la densidad del aceite obtenido, esta densidad será mayor cuando, durante la destilación se ebulle hasta cadenas de carbono no tan pesadas en el rango de C<sub>20</sub> a C<sub>25</sub>.

## CONCLUSIONES

- Se determinó la efectividad del proceso de destilación al vacío sobre el rendimiento y la calidad, observando que la destilación realizada fue efectiva para purificar el aceite lubricante usado, de modo que se logró recuperar la base lubricante hasta en un 90% con un grado de purificación de 1 en la escala ASTM D1500.
- Los valores obtenidos a partir de los ensayos realizados a las muestras preparadas de aceite lubricante usado se encuentran dentro del rango dado por la NTP 900.050, los cuales determinan que efectivamente la muestra compuesta es una mezcla de distintos tipos de aceites lubricantes y distinta procedencia, la cual es adecuada para someter al proceso de destilación al vacío.
- Se ha determinado que la presión de destilación de los ALU no influye en el rendimiento; sin embargo, la temperatura empleada en el proceso de destilación influye en el rendimiento; observando que mientras la temperatura de destilación va incrementando por encima de 380°C se obtiene un mejor rendimiento. Asimismo, se determinó que la temperatura no influye en la calidad; sin embargo, la presión sí tiene influencia en cuanto al color el cual se ve reflejado en la gama de color ASTM D1500 de la base recuperada encontrándose en el rango de 1 – 2, posicionando a la base lubricante recuperada dentro la escala de aceites base SN100 y SN150, el grado de purificación disminuye por el arrastre de impurezas; adicionalmente, los rendimientos y purificación obtenidos en los cortes 350°C, 365°C y 380°C poseen un color similar a las bases lubricantes SN100, SN145 y SN150 lo cual las posiciona dentro un rango aceptable según REPSOL (2017); Asimismo, se obtuvo rendimientos superiores a las referencias.
- Se ha determinado y comparó las propiedades fisicoquímicas de la base lubricante recuperada frente a una base lubricante nuevas y las propiedades obtenidas se

encuentran dentro del rango para aceites bases SN100-SN150, por ende, se podría emplear esta base lubricante para la elaboración de aceites lubricantes nuevos comerciales.

## RECOMENDACIONES

- Realizar el proceso de destilación a mayor vacío para realizar la destilación en menor tiempo y analizar la variación de las propiedades.
- Realizar el proceso de destilación a menor vacío para investigar a mayor profundidad el hecho de que se tiene un mejor rendimiento a menor vacío.
- Realizar el proceso de destilación en un menor rango de temperatura ( $<380^{\circ}\text{C}$ ) para evitar el craqueo térmico y evitar la formación de coque en el residuo.
- Implementar un recuperador de vapores en el equipo de destilación al vacío puesto que las moléculas más volátiles tienden a salir por el tope y no son atrapadas en la trampa de frío, de manera que llegan a la bomba y podrían dañarla.



## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Petróleo. (17 de Julio de 2008). *Osinergmin*. Obtenido de <http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/GFH/ForoUMAL/tema10.pdf>
- ASTM D1160. (2018). Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure. *ASTM D1160-18*, 20. West Conshohocken, USA. doi:10.1520/D1160-18
- ASTM D1500-12. (2017). Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale). *ASTM D1500-12(2017)*, 5. West Conshohocken, USA. doi:10.1520/D1500-12R17
- ASTM D1744-13. (2013). Standard Test Method for Determination of Water in Liquid Petroleum Products by Karl Fischer Reagent. *ASTM D1744-13*, 15. West Conshohocken, USA. Obtenido de <https://www.astm.org/d1744-13.html>
- ASTM D445-21. (2021). Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). *ASTM D445-21e2*, 17. West Conshohocken, USA. doi:10.1520/D0445-21E02
- ASTM D93-20. (2020). Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. *ASTM D93-20*, 18. West Conshohocken, USA. doi:10.1520/D0093-20
- Bennett Fitch, Noria Corporation. (2015). *Machinery Lubrication*, 6. Recuperado el 21 de Abril de 2023, de Machinery Lubrication: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30165/oil-oxidation-stages>
- Botello, A., Rendón von Osten, J., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernandez, C. (2005). Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. En A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernandez, *Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (Vol. II, págs. 266-268). Ciudad de México: EPOMEX.
- de Haan, A., & Bosch, H. (2013). *Industrial Separation Processes* (Vol. 2). Netherlands, Germany: MB Eindhoven.
- de la Fuente Fernández, S. (2019). *MODELO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA*. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Economía Aplicada, Madrid. Obtenido de <https://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/ANALISIS-VARIANZA/analisis-varianza.pdf>

- Eman, E., & Shoaib, A. (2013). *Re-Refining of Used Lube Oil, I- by Solvent Extraction and Vacuum Distillation Followed by Hydrotreating*. Suez University, Department of Refining Engineering and Petrochemicals. Egypt: Vurup.sk. Recuperado el 15 de Marzo de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/283177631\\_Re-refining\\_of\\_used\\_lube\\_oil\\_i-\\_by\\_solvent\\_extraction\\_and\\_vacuum\\_distillation\\_followed\\_by\\_hydrotreating](https://www.researchgate.net/publication/283177631_Re-refining_of_used_lube_oil_i-_by_solvent_extraction_and_vacuum_distillation_followed_by_hydrotreating)
- Fong Silva, W., Quiñonez Bolaños, E., & Tejada Tovar, C. (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje. *PROSPECTIVA*, 15(2), 135-144. doi:<https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.782>
- Francois, A. (2006). *Waste Engine Oils*. netherlands: Elsevier.
- G. Santos, R., A. Lima, E., & L. Paredes, M. (2021). ASTM distillation curve: Experimental analysis and premises for literature modeling. *FUEL*.
- G. Speight, J. (2017). *Handbook Of Petroleum Refining*.
- Gonzales Bellido, J. (2018). *Estudio de la Contaminación de Suelos por Residuos de Hidrocarburos y Propuesta de Manejo Ambiental de los Talleres de Mecanica Automotriz del Distrito de San Jerónimo-Cusco*. Arequipa.
- Guillen Valle, O., Sanchez Camargo, M., & Vegazo de Bedoya, L. (2020). *COMO ELABORAR UNA TESIS*. (O. Guillen Valle, Ed.) Lima, Perú.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2022). *Metodología de la Investigación* (Vol. 6ta edición). México: Mc Graw Hill.
- Hozan Jalal, S., & Abdulsalam Rahim, K. (24 de Diciembre de 2019). Re-refining of used lubricating oil by vacuum distillation/thin wiped film evaporation technique. *PETROLEUM SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 30, 32-59. doi:[10.1080/10916466.2019.1704782](https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1704782)
- INACAL. (12 de Septiembre de 2012). Norma Técnica Peruana NTP 900.054 (2012). *GESTION AMBIENTAL. Manejo de aceites usados. Reaprovechamiento energético. Disposición Final*. Lima, San Isidro, Perú: INDECOPI.
- INACAL. (18 de 12 de 2014). Norma Técnica Peruana NTP 900.050 (2014). *Gestión Ambiental. Manejo de aceites usados. Generalidades*. Lima, Lima, Perú: INDECOPI.
- INACAL. (22 de Julio de 2019). Norma Técnica Peruana NTP 900.051 (2008). *GESTIÓN DE RESIDUOS. Manejo de aceites usados. Generación, recolección y almacenamiento*. Lima, San Isidro, Perú: INDECOPI.

- INACAL. (22 de Julio de 2019). Norma Técnica Peruana NTP 900.052 (2019). *GESTIÓN DE RESIDUOS. Manejo de aceites usados. Transporte*. Lima, San Isidro, Perú: INDECOPI.
- INACAL. (22 de Julio de 2019). Norma Técnica Peruana NTP 900.053. *GESTIÓN DE RESIDUOS. Manejo de aceites usados. Reaprovechamiento. Re-refinación*. Lima, San Isidro, Perú: INDECOPI.
- IQR. (2020). *Ingeniería Química*. Recuperado el 2022, de Ingeniería Química: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/que-es-un-azeotropo-o-mezcla-azeotropica.html>
- Jafari, A., & Hassanpour, M. (2015). *Analysis and comparison of used lubricants, regenerative technologies in the world*. Department of Environmental Health Engineering School of Public Health. Iran: Elsevier. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.026>
- Jones Pawlak , J. M. (2007). *Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado*. Univeridad Austral De Chile. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- L. Luyben, W. (2016). Distillation Column Pressure Selection . *Separation and Purification Technology*, 1-4. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.05.015>
- Liqui Moly. (2018). *Liqui Moly - Lubricantes*. Obtenido de Liqui Moly : <http://www.liquimoly.com>
- Lubritec. (2021). *Lubritec - Especialistas en Lubricación Industrial*. Obtenido de Lubritec - Especialistas en Lubricación Industrial: <https://www.lubritec.com/aceites-lubricantes-y-sus-propiedades/>
- Luther, R., & Mang, T. (2012). *Lubricants, 10. Disposal, Recycling, and Safety Aspects*. ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY . Germany: Ullmann's. doi:10.1002/14356007.o15\_o12
- Manzanares Jiménez , L. (2022). Alternativas de recuperación para los aceites lubricantes usados. *Epistemos (Sonora)*, 16(32), 79-85. doi:<https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i32.222>
- Martinez Herrera, C. (2021). *Efectos de la Adición de Aceite Usado de Motor en las Propiedades Mecánicas de Mezclas Asfálticas en Caliente*. Tesis de Grado, Ambato.
- Matute, D. J., & Sarmiento , R. D. (2012). *Obtención de Aceite Base Mineral Mediante la Recuperación del Aceite Usado en Vehículos Automotrices*. Cuenca .

- Montoro Moreno, L. (2005). *Contribución al Desarrollo y Mejora de Técnicas para la Detección y Análisis de Partículas Metálicas y Contaminantes en Aceites Lubricantes Usados*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. doi:10.4995/thesis/10251-1875
- Morán Robles, K. D. (2017). *Re-refinación de Aceites Lubricantes Usados mediante procesos físico-químicos*. Tesis, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38267>
- Muna Mahmood, K., Tagreed Mahdi, H., & Hader Abid, A. (2017). Using Vacuum Distillation Technique to Treat Waste Lubricating Oil and Evaluation its Efficiency by Chromatographic Methods. *Journal of Al-Nahrain University*, 17-24.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO. (2022). *Informe Nro. 467- 202-DL-SGCIAGDESM-GMC*. Municipalidad Prnovincial del Cusco, Cusco, Cusco.
- Noria.MX. (2020). *NORIA*. Recuperado el 20 de Mayo de 2023, de NORIA: <https://noria.mx/lublearn/analizando-el-color-del-aceite/>
- Perez León, A. (2018). Rendimiento de una reacción, teórica, real y porcentual. Coyoacán, Coyoacán, Mexico.
- Pillon Z., L. (2011). *Surface Activity Petroleum Derived Lubricants*. London: CRC Press.
- REPSOL. (2017). Bases Lubricantes SN. *Bases Lubricanes SN, 6*. Madrid, España. Obtenido de <https://lubricants.repsol.com/es/>
- REPSOL. (2022). *Repsol Lubricantes*. Obtenido de Repsol Lubricantes: <https://lubricants.repsol.com/es/>
- SAE international. (2018). *SAE mobilus*. Obtenido de SAE mobilus: <https://www.sae.org>
- Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. (2014). *Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques*. b Mineral Processing Research Center, Faculty of Chemical Engineering. Iran: Elsevier. doi:ttp://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.08.009
- Sandino Corbet, A. (2018). Agua en el Aceite - Problemas que causa la presencia de agua en sistemas de lubricación e hidráulicos. *Revista de Marina*, 59-62.
- Santana Robles, F. (2017). *Técnicas Estadísticas (DOE, RSMY VRT) para el Análisis de un Modelo de Simulación*. Hidalgo: UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO.
- Sanz Tejedor, A. (2013). *QUIMICA ORGÁNICA INDUSTRIAL*. Obtenido de QUIMICA ORGÁNICA INDUSTRIAL: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>

- Sanz Tejedor, A. (2018). *Química Orgánica Industrial*. Obtenido de Química Orgánica Industrial: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>
- Speight, J., & Exall, D. (2014). *Refining Used Lubricating Oils*. London: Taylor & Francis Group.
- Speight, J. G., & Heinemann, H. (2013). Synthetics, Mineral Oils, & Bio - Based Lubricants . En J. G. Speight, & H. Heineman, *SYNTHETICS, MINERAL OILS, & BIO-BASED LUBRICANTS* (pág. 971). New York: Taylor & Francis Group.
- VAISALA. (2019). *VAISALA FAQ's*. Obtenido de VAISALA FAQ's: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/MIO-FAQs-B210963ES.pdf>
- Vargas Fernández, S., & Olaya Garay, J. (2012). *ELABORACIÓN DE CURVAS DE DESTILACIÓN DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS PERTENECIENTES A LA SUB-CUENCA NEIVA: MÉTODO ASTM D86-04*. Tesis de Pregrado , UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, Neiva.
- Velez Ponce, M. (2020). *Análisis de Concentración de Fe, Cu y Al por Espectroscopía de Absorción Atómica la Llama en el Hidrocarburo Combustible Obtenido por Destilación Simple Aceite Gastado Lubricante Automotriz 20W50*. Latacunga.
- Vistony. (25 de Julio de 2018). *Vistony*. Obtenido de Vistony: <http://www.vistony.com>

## ANEXOS

Anexo 1: Karl Fischer titrator/cou-lo aquamax kf moisture meter



Anexo 2: Stabinger Viscometer – ANTOON PAR SVM 3000



Anexo 3: Petrotest PMA-4 -ASTM D93



Anexo 4: Equipo de destilación al vacío ASTM D1160 – BR INSTRUMENTS



Anexo 5: Equipo de difracción de rayos X – OLYMPUS



Anexo 6: Balanza de alta precisión PR Series - OHAUS





*Anexo 7: Proceso de destilación al vacío*



*Anexo 8: Determinación del porcentaje de agua*



Anexo 9: Determinación de la viscosidad



Anexo 10: Homogenización de las muestras



Anexo 11: Aplicaciones de aditivos según el tipo de fluidos

	Motor	Fluidos de transmisión automática	Turbinas/ R&O/ Fluidos hidráulicos	Fluidos Hidráulicos Antidesgaste	Fluidos Hidráulicos resistentes al fuego	Lubricantes Metal Mecánicos	Engranajes	Grasas
Mejoradores de Índice de Viscosidad (IV)	0	0		+-			0	
Detergentes	0	+-		+-				+-
Dispersantes	0	0		+-				
Agentes anti-desgaste	0	+-		0	0		0	0
Anti-oxidantes	0	0	0	0			0	0
Inhibidores de corrosión	0	0	0	0	0	0	0	0
Anti-espumantes	0	0	0	0			0	
Aditivos de extrema presión (EP)		0			+-	0	0	+-
De activadores metálicos			0	0		+-	+-	+-
De presentes de punto de congelación	0	0	0	0	+-		0	

0 Usualmente +- Ocasionalmente

Anexo 12: Campos de aplicación de las bases sintéticas

**Campos de aplicación de las bases sintéticas**

<b>ADITIVOS</b>	<b>MOTORES</b>	<b>TRANSMISION AUTOMATICA</b>	<b>ENGRANAJES AUTOMOTRICES</b>	<b>COMPRESORES</b>	<b>TURBINAS</b>	<b>ENGRANAJES INDUSTRIALES</b>
DISPERSANTES						
DETERGENTES						
ANTIDEGASTE						
EXTREMA PRESION						
INHIBIDORES DE OXIDACION						
INHIBIDORES DE CORROSION						
ANTIHERRUMBRANTES						
MODIFICADORES DE FRICCION						
DEPRESORES DEL PTO. DE FLUIDEZ						
ANTESPUMANTES						
MEJORADORES DEL I.V.						
DEMULSIFICANTE						

Anexo 13: Composición y propiedades de aditivos

Fluidos para el trabajo o maquinado de metales			
Símbolo ISO	Composición y propiedades	Aplicación	Observaciones
MHA	Fluidos con aditivos anticorrosivos	Remoción del metal mediante corte, abrasión o descargas eléctricas y maquinado del metal mediante taladrado, embutido, planchado, entorchado, trefilado, forjado - frío o caliente, extrusión, estampado, laminado en frío	Operaciones donde el requisito principal es la lubricación de la herramienta de corte
MHB	Fluidos del tipo MHA con propiedades para reducir la fricción		
MHC	Fluidos del tipo MHA con aditivos de extrema presión y químicamente NO activos		
MHD	Fluidos del tipo MHA con aditivos extrema presión y químicamente activos		
MHE	Fluidos del tipo MHB con aditivos extrema presión y químicamente NO activos		
MHF	Fluidos del tipo MHB con aditivos extrema presión y químicamente activos		
MHG	Son grasas, pastas o ceras aplicadas sin diluir o diluidas en fluidos tipo MHA		
MHH	Son Jabones, polvos, lubricantes sólidos o mezcla de los mismos. Se aplican en forma diluida		
MAA	A las concentraciones establecidas, cuando se mezclan con agua, se obtiene una emulsión lechosa con propiedades anticorrosivas	Remoción del metal mediante corte, abrasión o descargas eléctricas y maquinado del metal mediante taladrado, embutido, planchado, entorchado, trefilado, forjado - frío o caliente, extrusión, estampado, laminado en frío	Operaciones donde el requisito principal es el enfriamiento de la herramienta de corte
MAB	Fluidos tipo MAA concentrado con propiedades de reducción de fricción		
MAC	Fluidos tipo MAA concentrado con propiedades de extrema presión		
MAD	Fluidos tipo MAB concentrado con propiedades de extrema presión		

	<b>FICHA TÉCNICA</b> (MAXDIESEL 15W-40 ULTRA)		Código CCF-PI-LI-002
			Fecha Versión Enero-2018
			Página 2 de 3

## ESPECIFICACIONES Y APROBACIONES

Las propiedades especiales del MAXDIESEL 15W-40 ULTRA cumplen o superan los requisitos de desempeño establecidos por normas y especificaciones de API CI-4, ACEA E7-12, MB 228.3, MAN 3275, Volvo VDS-3, Deutz III, MTU 2.0, Mack EO-M+, Mack EO-N, CES 20077, CES 20078, Caterpillar ECF-2, Renault RLD-2, JASO DH-1, Global DHD-1, DDC 93K215 y la norma ICONTEC NTC 1295 (PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS. ACEITES LUBRICANTES PARA CÁRTER EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA, A OPERACIÓN DUAL GASOLINA/GAS NATURAL PARA VEHÍCULOS (CUATRO TIEMPOS) Y DIÉSEL (CUATRO Y DOS TIEMPOS)).

## PRESENTACIÓN



- Tambor de 55 Galones.
- Minitambor de 15 Galones
- Garrafa de 5 Galones
- Caja de 4 unidades de 1 Galón.
- Caja de 12 Unidades de ¼ de Galón.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS TÍPICAS

Característica	Método	Unidades	MAXDIESEL 15W-40 ULTRA
Apariencia			Ámbar/Rojo
Viscosidad Cinemática @ 40°C	ASTM D445	cSt	116,9
Viscosidad Cinemática @ 100°C	ASTM D445	cSt	14,5
Índice de Viscosidad	ASTM D2270		130
Punto de Fluidez	ASTM D97	°C	< -30
Punto de Inflamación	ASTM D92	°C	> 220
TBN	ASTM D2896	mgKOH/g	10
Contenido de Agua	ASTM D95	ppm	0
Corrosión al Cobre (3h @ 100°C) (máximo)	ASTM D130		2A
Espuma (máximo)	ASTM D892		
Secuencia I		mL	10/0
Secuencia II		mL	20/0
Secuencia III		mL	10/0

Los datos de estas pruebas típicas son valores promedio. Pueden presentarse ligeras variaciones en cada producción respecto a los valores indicados que no afectan el buen desempeño del producto.

Elaboró y Revisó: Coordinador CCF – Coordinador SGC | Aprobó: Gerente General

	<b>FICHA TÉCNICA</b> (MAXLUBE 20W-50 API SN)		Código CCF-PI-LI-012
			Fecha Versión Febrero-2018
			Página 2 de 2

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS TÍPICAS

Característica	Método	Unidades	MAXLUBE API SN
			20W-50
Apariencia			Ámbar
Viscosidad Cinemática @ 40°C	ASTM D445	cSt	173,7
Viscosidad Cinemática @ 100°C	ASTM D445	cSt	19,37
Índice de Viscosidad	ASTM 2270		127
Punto de Fluidez	ASTM D97	°C	-28
Punto de Inflamación	ASTM D92	°C	206
TBN	ASTM D2896	mgKOH/g	7
Contenido de Agua	ASTM D95	ppm	0
Corrosión al Cobre (3h @100°C) (máximo)	ASTM D130		2A
Espuma (máximo)	ASTM D892		
Secuencia I		mL	0/0
Secuencia II		mL	0/0
Secuencia III		mL	0/0

## RECOMENDACIONES

**Técnicas:** Para mantener al máximo el desempeño del aceite en el motor recuerde realizar sencillos chequeos periódicos como chequear el nivel de aceite y cuando este cumpla con un tiempo prudente de trabajo, cámbielo junto con el filtro del mismo; revise el sistema de enfriamiento del motor, ya que un deficiente desempeño del mismo puede generar la carbonización del aceite y por consiguiente una mala lubricación; revise los filtros de aire y gasolina y cámbielos según las indicaciones del fabricante.

**Salud y seguridad:** Es recomendable durante la manipulación del aceite evitar el contacto prolongado o repetitivo con la piel, use guantes. En caso de contacto lave inmediatamente con abundante agua y jabón.

**Proteja el ambiente:** No contamine los drenajes, suelos o aguas con el aceite, su disposición debe estar de acuerdo a las regulaciones de la autoridad local.

Para mayor información sobre manejo seguro del producto es recomendable seguir las recomendaciones dadas en la "Ficha de datos de seguridad (Aceites Lubricantes) CCF-PI-LI-40" de GLOBAL OIL LUBRICANTES S.A.S.

Elaboró y Revisó: Coordinador CCF –Coordinador SGC	Aprobó: Gerente General
--	-------------------------

# Delta Oil MOTORVID

Lubricante formulado específicamente para motores de alto kilometraje. La alta viscosidad SAE 25W-60 brinda una resistente película de aceite que ayuda a proteger los motores que manejan bajo condiciones severas, como altas temperaturas y en tráficos intermitentes con paradas y arranques frecuentes. **MOTORVID SAE 25W-60 API SG/CF** está formulado a partir de bases lubricantes de excelente calidad mezclados con aditivos de alto performance, los cuales contribuyen a evitar la formación de lodos y la corrosión.

## Propiedades y Beneficios:

- Excepcional resistencia a la oxidación y desgaste.
- Excelente comportamiento a cualquier temperatura de operación.
- Reducción del desgaste prolongando la vida útil del motor.
- Reducción de consumo de aceite.
- Aditivos para el control del desgaste y fricción.
- Por sus características de alta viscosidad, protege el motor en un amplio rango de temperaturas.



## Recomendaciones al momento de cambiar el aceite

- Use la especificación de viscosidad del aceite recomendada en el manual del vehículo y/o maquinaria en el que se va a aplicar.
- No mezcle aceite usado y aceite nuevo.
- Cambie el filtro de aire y filtro de aceite con cada cambio de aceite.
- Utilice combustible de buena calidad.
- Verifique la autenticidad del lubricante y exija que el envase este sellado al momento de comprarlo.
- Realice periódicamente la revisión del motor y efectúe las reparaciones que sean necesarias.
- Confirme que el lubricante seleccionado coincida la viscosidad y especificación API recomendado por el fabricante del vehículo y/o maquinaria.



## Seguridad Personal y Ambiental

No arroje aceite al subsuelo o fuentes de agua. Consulte la legislación de su ciudad para conocer dónde y cómo disponer el aceite usado.

Evite el contacto de la piel con aceite usado. Mantenga el producto fuera del alcance de los niños

Para mayor información de seguridad consulte la Hoja de Seguridad del producto en [www.deltaoil.co](http://www.deltaoil.co)



[WWW.deltaoil.co](http://www.deltaoil.co)  
servicioalcliente@deltaoil.co  
PBX: (+ 57 1) 418 1624  
Carrera 124 # 17-94  
Bogotá | Colombia

## Ficha Técnica

**SAE 25W-60 API SG/CF**  
MOTORVID

### Especificaciones de Calidad:

API SG/CF  
Lubricante formulado bajo las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana **ICONTEC - NTC 1295**.

SAE | 25W-60  
API | SG/CF  
TIPO GRADO | MULTIGRADO

TIPO DE BASE | GRUPO II  
TIPO DE COMBUSTIBLE | GASOLINA / DIESEL

### Aplicaciones Recomendadas:

**MOTORVID SAE 25W-60 API SG/CF** está recomendado para motores a gasolina o diésel de alto kilometraje

## Presentaciones Disponibles



**IBC**  
275 Galones



**TAMBOR**  
55 Galones



**CUÑETE**  
5 Galones



**GALÓN**  
3,785 Litros



**Cuarto**  
0,946 Litros

## MOTORVID SAE 50 API SF

Propiedad	Método ASTM	Valor Típico*
Viscosidad a 100°C, Cst.	D-445	18
Viscosidad a 40°C, Cst.	D-445	178
Índice de Viscosidad.	D-2270	130
Gravedad específica a 15.6°C g/ml	D-1298	0.885
Punto de Fluidez °C.	D-97	-27
Punto de Inflamación °C.	D-92	230

\* Los datos anteriores son típicos en valores de tolerancia normales de producción y no constituyen especificación.



# SAE 5W-30

API SN/RC ILSAC GF-5




# CARTEK®

AUTOPARTES

Aceite para motor a gasolina multigrado 100% sintético

## PROTECCIÓN INSUPERABLE CONTRA EL DESGASTE

Por su bajo coeficiente de fricción

### SINTÉTICO SAE 5W-30 API SN/RC ILSAC GF-5

#### DESCRIPCIÓN

Aceite 100% sintético diseñado para satisfacer la última generación de lubricantes RC (Resource Conserving), el cual excede en protección a los lubricantes de base mineral. Debido a su avanzada tecnología de aceites básicos sintéticos y su paquete de aditivos especial de alto rendimiento, ofrece una protección única a los motores a gasolina modernos, el cual se adhiere a los mecanismos con tal tenacidad, que no se desplaza en áreas de extrema presión, permaneciendo aun después de apagado el motor, asegurando una protección adecuada al momento del encendido.

#### BENEFICIOS

- ⚡ Ahorros considerables en combustible.
- ⚡ Muy baja volatilidad, reduciendo el consumo de lubricante.
- ⚡ Facilita un excepcional arranque en frío debido a su baja viscosidad a bajas temperaturas.
- ⚡ Mantiene siempre limpio el motor.
- ⚡ Ecológico, debido a la menor cantidad de aceite de desecho.
- ⚡ Excepcional resistencia al espesamiento por oxidación.
- ⚡ Bajo coeficiente de fricción.
- ⚡ Excelente protección contra la herrumbre y la corrosión.
- ⚡ Alta protección contra depósitos.

#### PRESENTACIÓN



Caja 4 Pines  
55W30SNDX1L



Caja 4 Pines  
55W30SNDX3L



Tambor  
55W30SNDX200L

#### APLICACIÓN

Energy Dexos-1 está especialmente diseñado para la lubricación de las últimas generaciones de motores a gasolina 2011 americanos, europeos y asiáticos que requieran aceites sintéticos con este nivel de servicio API SN/GF-5 así como vehículos híbridos que operan con combustible Etanol hasta E85. Para utilización en cualquier tipo de vehículos que circulan en ciudad, carretera y autopista. Cumple con los requisitos de los estándares Dexos-1 para Motores de Gasolina en Factory Fill y Service Fill.

#### ESPECIFICACIONES

Cumple con los requerimientos de las siguientes especificaciones:

- ⚡ API SN-RC (Resource Conserving)
- ⚡ ILSAC GF-5
- ⚡ Dexos-1
- ⚡ GM 4718M

#### MANEJO Y SEGURIDAD

Existe la correspondiente Hoja de Datos de Seguridad a la legislación vigente. Dicha documentación proporciona información relativa a la peligrosidad del producto, precauciones en su manejo y medidas de primeros auxilios.



### Características Típicas

Pruebas	Método ASTM	Resultados
Grado SAE	J300	5W-30
Temperatura de Inflamación, °C	D-92	231
Temperatura de Esguerramiento, °C	D-97	-33
Densidad @ 20 °C, g/ml	D-1250	0.8514
Viscosidad Cinemática @ 100 °C, cSt	D-445	10.60
Índice de Viscosidad	D-2270	177
Número Base, mg KOH/g	D-2896	6.2
C.C.S. @ -30 °C, cP	D-5293	5900

Los resultados indicados como Características Típicas del aceite se refieren solamente a valores promedio. Se podrán presentar pequeñas variaciones en estos valores durante su fabricación, los cuales no afectarán el desempeño del producto. Esta hoja técnica está sujeta a cambio sin previo aviso. Para conocer la información consulte al Área Técnica.



© Marcas Registradas Usadas bajo licencia otorgada por su titular, Libertad No. 39 Interior 6, Colonia Mexicaltzingo, C.P. 44180, Guadalupe, Jalisco.

www.carttek.com.mx



Refinación S.A.

FICHA TÉCNICA

Producto: SUPER ESPECIAL 2 SAE 40 API SG/CD

Fecha: Marzo/2014

Página 2 de 2

Versión: 2

### 3. ANÁLISIS

PRUEBA	MÉTODO ASTM	RESULTADO	UNIDAD
		GRADO SAE 40	
Grav. Específica 15.6/15.6°C	D 1298	0.8880	
Visc. Cinemática a 100 °C	D 7042	12.5 ≤ X < 16.3	cSt
Índice de Viscosidad	D 2270	95 MIN	
Color ASTM	D 1500	L 6,0	
Punto de escurrimiento	D 97	-12	°C
Punto de inflamación	D 92	225	°C
Prueba de espuma, secuencia 1 (Tendencia/Estabilidad)	D 892	10/0	ml
Agua Cualitativo	Visual	Negativo	
Apariencia	Visual	Claro-transparente	

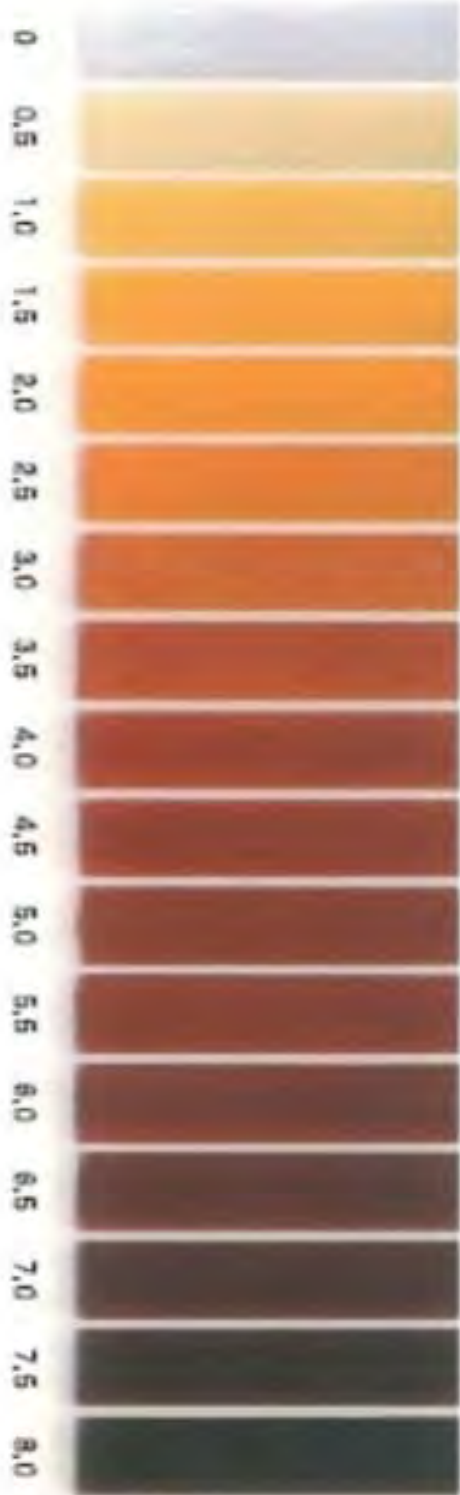
**Nota.-** Los datos de análisis típico son representativos de valores de producción y no constituyen una especificación.

### 4. ENVASES DISPONIBLES

Caja de 4 unidades de 4 litros.

Caja de 12 unidades de 1 litros.

**ASTM D1500 Color Scale**



0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Color Scale

8-14-2014

REV 1

Anexo 20: Propiedades fisicoquímicas de n-alcenos y cicloalcanos

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los principales n-alcenos y cicloalcanos.				
Nombre	Fórmula	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C	Densidad g/ml
<b>Alcanos</b>				
Metano	CH <sub>4</sub>	-183	-162	-
Etano	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	-172	-88.5	-
Propano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-187	-42	-
n-Butano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-138	0	-
n-Pentano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	-130	36	0.626
n-Hexano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	-95	69	0.659
n-Heptano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-90.5	98	0.684
n-Octano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>3</sub>	-57	16	0.703
n-Nonano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>	-54	151	0.718
n-Decano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	-30	174	0.730
n-Undecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	-26	196	0.740
n-Dodecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> CH <sub>3</sub>	-10	216	0.749
n-Tridecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	-6	234	0.757
n-Tetradecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> CH <sub>3</sub>	5.5	252	0.764
n-Pentadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>	10	266	0.769
n-Hexadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> CH <sub>3</sub>	18	280	0.775
n-Heptadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> CH <sub>3</sub>	22	292	-
n-Octadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> CH <sub>3</sub>	28	308	-
n-Nonadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>17</sub> CH <sub>3</sub>	32	320	-
n-Eicosano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> CH <sub>3</sub>	36	-	-
<b>Cicloalcanos</b>				
Isobutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>	-159	-12	-
Isopentano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-160	28	0.620
Neopentano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> C	-17	9.5	-
Isohexano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-154	60	0.654
3-metilpentano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-118	63	0.676
2,2 Dimetilbutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-98	50	0.649
2,3 Dimetilbutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-129	58	0.668

Anexo 21: Propiedades físicas de compuestos aromáticos

**Tabla 2.** Principales propiedades físicas de algunos compuestos aromáticos.

Nombre	Fórmula	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C	Densidad a 20°C (g/ml)
Benceno	$C_6H_6$	5.5	80	0.874
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	-95	111	0.862
Etilbenceno	$C_6H_5CH_2CH_3$	-95	136	0.863
Propilbenceno	$C_6H_5CH_2CH_2CH_3$	-100	1259	0.858
Isopropilbenceno	$(CH_3)_2CHC_6H_5$	-96	152	0.858
O-Xileno	$o-(CH_3)_2C_6H_4$	-25	144	0.876
m-Xileno	$m-(CH_3)_2C_6H_4$	-48	139	0.860
p-Xileno	$p-(CH_3)_2C_6H_4$	13	138	0.857
1,2,3 Trimetilbenceno	$1,2,3-o-(CH_3)_3C_6H_3$	-25	176	0.890
1,2,5 Trimetilbenceno	$1,2,5-o-(CH_3)_3C_6H_3$	-44	169	0.872
Estireno	$C_6H_5CH=CH_2$	-31	145	0.901
Bifenilo	$C_6H_5-C_6H_5$	-69	255	-
Naftaleno	$C_{10}H_8$	80	218	0.975

## APÉNDICE

### APÉNDICE 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>					
<b>ESTUDIOS DE LA OBTENCION DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS A PARTIR DE ACEITES LUBRICANTES MEDIANTE DESTILACIÓN AL VACÍO</b>					
<b>Ítems</b>	<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Diseño Metodológico</b>
<b>General</b>	¿Cuál es el rendimiento y la calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado?	Evaluar el rendimiento y la calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado	La presión y temperatura ejerce efecto significativo en el rendimiento y calidad del lubricante obtenido por destilación al vacío	<b>Variables independientes:</b> - Presión - Temperatura  <b>Variables dependientes:</b> - Rendimiento de destilado - Calidad del destilado	<b>TIPO DE ESTUDIO:</b> aplicativo con enfoque cuantitativo y alcance explicativo con diseño experimental <b>- Área o lugar de estudio:</b> Laboratorio de hidrocarburos PIQ-105 - UNSAAC <b>- Instrumentos:</b> Materiales y equipos de laboratorio  <b>METODO EMPLEADO:</b> - Muestreo - Acondicionamiento de la muestra - Deshidratación de la muestra - Proceso de destilación - Análisis de condensado obtenido - Determinación de partículas metálicas - Análisis de la influencia de las variables independientes en el rendimiento y calidad del destilado al vacío
<b>Espec 1</b>	¿Cuáles son las características del aceite lubricante usado sometido a filtración?	Determinar las características del aceite lubricante usado sometido a filtración			
<b>Espec 2</b>	¿Cuál es el efecto de la presión y temperatura sobre el rendimiento y calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado?	Evaluar el efecto de la presión y temperatura en el rendimiento y calidad del destilado al vacío de aceite lubricante usado			
<b>Espec 3</b>	¿Cuáles son las condiciones de presión y temperatura que logran el mejor rendimiento y calidad de la base lubricante?	Determinar las condiciones de presión y temperatura que logran el mejor rendimiento y calidad de la base lubricante			

**APÉNDICE 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>			
<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala</b>
Presión	Presión máxima de operación	mmHg	De intervalo
	Presión mínima de operación	mmHg	
Temperatura	Temperatura máxima de operación	Grados Celsius	De intervalo
	Temperatura mínima de operación	Grados Celsius	
Calidad	viscosidad	mPa.s - mm <sup>2</sup> /s	De intervalo
	índice de viscosidad	-	De intervalo
	Color ASTM	Color 1	Ordinal
		Color 8	
Agua	ppm	De intervalo	
Rendimiento	Volumen recuperado	Porcentaje	De intervalo