



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“DESARROLLO DE UN ALGORITMO COMPUTACIONAL PARA PREDECIR EL  
COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA BINARIA DE CRUDO MEDIANTE EL  
MODELO MATEMÁTICO DE ARRHENIUS”**

### **PROYECTO DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

### **INGENIERA EN PETRÓLEO**

Presentado por:

**JOSELYN GABRIELA ANDRADE BRAVO**

**CAROL ANAIR GONZÁLEZ MALDONADO**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2017**

## DEDICATORIA

A mi padre José Andrade, por su ejemplo de perseverancia y bondad, a mi madre Aurora Bravo por su constante apoyo e inmenso amor, a mis hermanos José Xavier y José Miguel, fueron ellos el pilar fundamental de este logro.

Finalmente, agradezco a mis amigos y profesores, por todas las experiencias y momentos compartidos, sin lugar a duda convirtieron mi trayecto universitario como una etapa maravillosa e inolvidable.

Joselyn Gabriela Andrade Bravo.

## DEDICATORIA

A mis padres: María del Cisne Maldonado y Marco González, por su apoyo y amor incondicional durante todos estos años. A mis hermanas: Paulina y Thalía, por su cariño y comprensión.

A mis amigos, quienes se convirtieron en mi segunda familia en Guayaquil, por todo su cariño y apoyo en cada paso de mi carrera, sin duda hicieron de la vida universitaria una etapa maravillosa y de gran experiencia.

Carol Anair González Maldonado

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, al MSc. José Andrade Bravo, al Ing. Oscar Lliguicota quienes estuvieron prestos a colaborar en la realización del presente proyecto y a cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencias de la Tierra que han aportado a nuestra formación ética y profesional.

Joselyn Gabriela Andrade Bravo

Carol Anair González Maldonado

## **TRIBUNAL DEL PROYECTO**

---

**MSc. Romel Ángel Erazo Bone**  
**DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

---

**MSc. Fidel Chuchuca Aguilar**  
**MIEMBRO EVALUADOR**

---

**MSc. Fabián Vera Rosales**  
**MIEMBRO EVALUADOR**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

---

**Joselyn Gabriela Andrade Bravo**

---

**Carol Anair González Maldonado**

## INTRODUCCIÓN

En la Industria de Refinación de Hidrocarburos y plantas petroquímicas, es fundamental mantener un equilibrio entre las propiedades del crudo para asegurar un correcto funcionamiento de las unidades de destilación y fraccionamiento. Cada unidad requiere un crudo con características determinadas el cual se obtiene mediante un proceso de mezclado.

En la actualidad las refinerías reciben crudos de diversas fuentes por lo tanto deben operar con crudos de distintas clases, es decir diferentes calidades y precios. Las operaciones de mezclado son de suma importancia en este caso ya que posibilitan la obtención de un producto de calidad que nos garantizará un beneficio económico.

La refinación de crudos altamente viscosos es una operación de mayor complejidad y costos, por ello la viscosidad se convierte en un factor primordial en este proceso. Numerosas investigaciones se han desarrollado para

encontrar un modelo matemático óptimo que pueda calcular, predecir y reducir la viscosidad con la finalidad de mejorar la calidad del crudo. Para cambiar la viscosidad es necesario realizar una mezcla con hidrocarburos más ligeros y de esta manera alcanzar las propiedades del crudo requeridas por las unidades de destilación y fraccionamiento.



## **RESUMEN**

El presente proyecto propone un algoritmo computacional para analizar el comportamiento de mezclas binarias de crudo, utilizando el modelo de Arrhenius, cuya variable de control principal es la viscosidad. El objetivo de esta aplicación es facilitar la obtención de una mezcla ideal de crudo que optimice el transporte de crudo y el funcionamiento de las unidades de destilación y fraccionamiento.

En el primer capítulo se detalla los conceptos teóricos de todas las propiedades físicas y parámetros de una mezcla de crudo.

En el segundo capítulo se presentan los modelos teóricos más utilizados para determinar la viscosidad de una mezcla binaria en conjunto con sus respectivas premisas, posteriormente se comparan y se determina el modelo con mayor ajuste a una mezcla entre crudos livianos y pesados.

En el tercer capítulo se determina el coeficiente de variación y porcentaje de error entre las viscosidades del modelo teórico y los resultados de viscosidades experimentales obtenidas mediante pruebas de laboratorio.

En el cuarto capítulo se plantea un algoritmo en la interfaz de Matlab que permite realizar distintas combinaciones de crudos a diferentes temperaturas, mostrando al usuario el comportamiento de cada una de ellas.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO .....	V
DECLARACIÓN EXPRESA .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	VII
RESUMEN.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ABREVIATURAS .....	XV
SIMBOLOGÍA .....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XXII
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>26</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>26</b>
1.1. Descripción del problema .....	27

1.2.	Justificación .....	27
1.3.	Propuesta .....	30
1.4.	Objetivos.....	31
1.4.1.	Objetivo general .....	31
1.4.2.	Objetivos específicos .....	31
1.5.	Propiedades del crudo.....	32
1.5.1.	Viscosidad.....	32
1.5.2.	Tipo de fluidos .....	34
1.5.3.	Variación de la viscosidad con la temperatura .....	37
1.5.4.	Medición de viscosidad .....	40
1.7.	Clasificación de crudos.....	49
1.7.1.	Por el contenido de azufre .....	49
1.7.2.	Por el contenido de parafina .....	50
1.7.3.	Por la gravedad.....	52
1.8.	Mezcla de Hidrocarburos.....	54
1.8.1.	Condición de idealidad de una mezcla de crudos .....	55
1.8.2.	Desviación de la idealidad .....	56
1.8.3.	Predicción de la viscosidad de mezclas .....	56
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>58</b>	
<b>2.    MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR LA VISCOSIDAD DE UNA MEZCLA BINARIA DE CRUDO .....</b>	<b>58</b>	
2.1.	Precedentes de modelos teóricos.....	59

2.2.	Principales modelos de mezclas de crudo .....	60
2.2.1.	Modelos con mayor aplicabilidad .....	62
2.3.	Criterios de selección del modelo .....	64
2.3.1.	Análisis Experimental de Selección .....	67
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>77</b>
<b>3.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO DE ARRHENIUS ...</b>	<b>77</b>
3.1.	Mezclas binarias de crudo .....	78
3.1.1.	Tipos de crudo.....	78
3.1.2.	Procedimiento de mezclado.....	79
3.2.	Obtención de Viscosidades Experimentales.....	80
3.2.1.	Determinación de Gravedad API .....	80
3.2.2.	Medición de Viscosidad (Método ASTM D-88) .....	82
3.2.3.	Viscosidad experimental .....	84
3.3.	Obtención de Viscosidades mediante el modelo de Arrhenius .....	89
3.4.	Análisis de resultados .....	94
3.4.1.	Comportamiento de la viscosidad versus temperatura .....	94
3.4.2.	Comportamiento de la viscosidad versus la fracción de crudo liviano. ....	96
3.4.3.	Comparación entre mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente .....	99
3.4.4.	Determinación del coeficiente de variación .....	102
3.4.5.	Comparación de Gravedad API .....	113
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>125</b>
<b>4.</b>	<b>ALGORITMO COMPUTACIONAL .....</b>	<b>125</b>

4.1.	Descripción del Algoritmo .....	126
4.1.1.	Estructura Del Algoritmo .....	128
4.2.	Objetivo del Algoritmo.....	129
4.3.	Ejecución del Programa.....	129
4.3.1.	Inicio .....	129
4.3.2.	Parámetros.....	131
4.3.3.	4.3.3. Tabla de Resultados .....	133
4.3.4.	Gráfica de Resultados.....	134
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>136</b>	
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>136</b>	
Conclusiones .....	137	
Recomendaciones .....	140	
ANEXOS		
BIBLIOGRAFÍA		

## ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society of Testing Materials
CGS	Sistema Cegesimal
ASTM D88	Standard Test Method for Saybolt Viscosity

## SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
cP	Centipoises
cSt	Centistokes
°F	Grados Farenheit
$lb.s/_{pie^2}$	Libras-segundo/pie cuadrado
$m^2/s$	Metros cuadrados/segundo
ml	Mililitro
mPa s	Mili pascal por segundo
Pa.s	Pascales por segundo
$pie^2/s$	Pies cuadrados/segundo



$R^2$	Coeficiente de Determinación
S.G	Gravedad Específica
SUS	Segundos Universales Saybolt
$T_o$	Temperatura de Operación
$\mu$	Viscosidad dinámica de una mezcla binaria
$\mu_A$	Viscosidad dinámica de crudo pesado
$\mu_B$	Viscosidad dinámica de crudo liviano
$\mu_{exp}$	Viscosidad experimental
$\mu_l$	Viscosidad del crudo liviano
$\mu_m$	Viscosidad de la mezcla
$\mu_p$	Viscosidad del crudo pesado
$\mu_{teo}$	Viscosidad Teórica
$V_A$	Fracción de volumen de crudo pesado
$V_B$	Fracción de volumen de crudo liviano

$V_l$	Volumen del crudo liviano
$V_p$	Volumen del crudo pesado
$X_i$	Fracción molar

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva de Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para un fluido newtoniano .....	36
Figura 1.2 Gráfica Viscosidad absoluta vs Temperatura. ....	38
Figura 1.3 Viscosidad de la mezcla vs fracción de diluyente. ....	40
Figura 1.4 Esquema de los componentes de un viscosímetro de tambor rotatorio.....	42
Figura 1.5 Esquema de un viscosímetro de tubo capilar. ....	44
Figura 1.6 Esquema de un viscosímetro de bola que cae. ....	45
Figura 1.7 Esquema de un viscosímetro de Saybolt. ....	47
Figura 2.1 Viscosidades de distintas proporciones de mezclas binarias de crudo, entre petróleo liviano y petróleo pesado a 100°C .....	66
Figura 2.2 Comparación entre el modelo de Arrhenius y datos experimentales ( $R^2 = 0.9876$ ).....	68
Figura 2.3 Comparación entre el modelo de Walther y datos experimentales ( $R^2 = 0.9679$ ).....	69

Figura 2.4 Comparación entre el modelo de Kendall-Monroe y datos experimentales ( $R^2 = 0.8922$ ).....	71
Figura 2.5 Comparación entre el modelo de Bingham y datos experimentales ( $R^2 = 0.5642$ ).....	72
Figura 2.6 Comparación entre el modelo de Cragoe y datos experimentales ( $R^2 = 0.9761$ ).....	74
Figura 3.1 Medición de Gravedad API de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente ..	82
Figura 3.2 Calibración de la temperatura para la prueba de viscosidad de saybolt. ....	84
Figura 3.3 Curva de viscosidad versus temperatura de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente. ....	95
Figura 3.4 Curva de viscosidad versus volumen de crudo liviano .....	96
Figura 3.5 Curva de viscosidad versus volumen de crudo liviano .....	98
Figura 3.6 Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 38°C .....	99
Figura 3.7 Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 48°C .....	100
Figura 3.8 Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 58°C .....	101
Figura 3.9 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 38°C....	104

Figura 3.10 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 48°C..	105
Figura 3.11 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 58°C..	107
Figura 3.12 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 38°C..	109
Figura 3.13 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 48°C..	110
Figura 3.14 Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 58°C..	112
Figura 3.15 Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Pacoa .....	114
Figura 3.16 Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Ancón .....	115
Figura 3.17 Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Oriente .....	117
Figura 3.18 Curva de gravedad API versus temperatura de las mezclas Pacoa- Oriente .....	120
Figura 3.19 Curva de gravedad API versus temperatura de las mezclas Ancón- Oriente .....	124
Figura 4.1 Estructura Del Algoritmo .....	128
Figura 4.2 Datos de entrada del programa .....	130
Figura 4.3 Porcentaje de Volúmenes Liviano .....	130
Figura 4.4 Porcentaje de Volúmenes Liviano .....	132
Figura 4.5 Matriz de Resultados de Viscosidades de mezclas para m Temperaturas.....	134
Figura 4.6 Gráfica de Porcentajes de Volumen Liviano vs Viscosidad de la Mezcla a diferentes temperaturas.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Métodos más utilizados para la predicción de viscosidad de una mezcla.	61
Tabla II. Análisis del porcentaje de error de los modelos al calcular los valores de viscosidad para una mezcla binaria de crudo .....	75
Tabla III. Gravedad API de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente.....	79
Tabla IV. Volumen de crudo liviano usado en cada mezcla.....	80
Tabla V. Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 38°C. ....	85
Tabla VI. Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 48°C. ....	85
Tabla VII. Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 58°C. ....	86
Tabla VIII. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 38°C. ....	86
Tabla IX. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 48°C. ....	87
Tabla X. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 58°C. ....	87
Tabla XI. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 38°C. ....	88
Tabla XII. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 48°C. ....	88
Tabla XIII. Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 58°C. ....	89

Tabla XIV. Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 38°C. ....	90
Tabla XV. Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 48°C. ....	90
Tabla XVI. Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 58°C. ....	91
Tabla XVII. Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 38°C.....	91
Tabla XVIII. Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.....	92
Tabla XIX. Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.....	92
Tabla XX. Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 38°C.....	93
Tabla XXI, Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 48°C.....	93
Tabla XXII. Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 58°C.....	94
Tabla XXIII. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 38°C. ....	103
Tabla XXIV. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C. ....	105
Tabla XXV. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C. ....	106
Tabla XXVI. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Ancón-Oriente a 38°C. ....	108
Tabla XXVII. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C. ....	110

Tabla XXVIII. Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C. ....	111
Tabla XXIX. Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Pacoa. ....	113
Tabla XXX. Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Ancón. ....	115
Tabla XXXI. Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Oriente. ....	116
Tabla XXXII. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 20% de crudo liviano. ....	118
Tabla XXXIII, Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 40% de crudo liviano. ....	119
Tabla XXXIV. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 60% de crudo liviano. ....	119
Tabla XXXV. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 80% de crudo liviano. ....	120
Tabla XXXVI. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 20% de crudo liviano. ....	122
Tabla XXXVII. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 40% de crudo liviano. ....	122
Tabla XXXVIII. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 60% de crudo liviano. ....	123



Tabla XXXIX. Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 80%  
de crudo liviano.....123

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Descripción del problema**

El proceso de mezcla de crudo es de vital importancia para un correcto funcionamiento de las unidades de destilación. Estas deben manejar crudos con determinados parámetros sin embargo alcanzarlos no es sencillo, se requiere estabilizar las propiedades del petróleo lo que implica un análisis profundo de su comportamiento.

La creación de modelos matemáticos es una herramienta que nos permite optimizar las operaciones de las unidades de destilación mediante estrategias de control de ciertos parámetros realizadas en el modelado. Por lo tanto al no emplearse un modelo adecuado para los diferentes tipos de mezclas, se obtienen fluctuaciones en la producción y bajas eficiencias de las unidades de destilación y fraccionamiento.

## **1.2. Justificación**

Los yacimientos de crudos livianos se han explotado durante décadas por lo cual en la actualidad estas reservas se han ido agotando. Por el contrario los yacimientos de hidrocarburos pesados son cada vez más abundantes sin embargo debido a su composición rica en componentes

pesados, la extracción y producción de este tipo de crudo resulta más costosa y por tanto menos rentable. Debido a esto numerosas técnicas se han desarrollado para facilitar los procesos y mejorar la relación beneficio-coste.

Los crudos pesados presentan altas viscosidades lo cual impide que puedan fluir con facilidad. Un método ampliamente usado para mejorar la viscosidad es el calentamiento del crudo pues se ha observado que la mayoría de crudos tienden a disminuir la viscosidad a medida que la temperatura incrementa.

Por otra parte mientras el crudo tenga mayor gravedad API mejor es su calidad y por ende mejores productos se obtendrán. Como es conocido la calidad de un crudo pesado es pobre en comparación a la de un crudo liviano, en orden de mejorar dicha calidad se realiza un proceso de dilución el cual consiste en adicionar un diluyente o crudo más liviano al crudo pesado, el producto final será un crudo mezclado de mayor calidad que el crudo pesado original. Este proceso de mezcla de crudo es vital en el área de refinación de hidrocarburos particularmente durante la operación de las unidades de destilación, las cuales requieren de un crudo con características específicas para un correcto funcionamiento. Sin embargo predecir el comportamiento de una mezcla de crudos no es una tarea

sencilla, este dependerá en su mayoría de las propiedades de los componentes así como de sus respectivas fracciones en la mezcla.

Una herramienta de gran utilidad para predecir el comportamiento de una mezcla son los modelos matemáticos. Existen algunos modelos propuestos los cuales manejan diversos parámetros acorde a diferentes condiciones. Seleccionar un modelo adecuado es importante ya que al modelar de manera apropiada la mezcla, se puede encontrar la proporción necesaria de cada componente para obtener una mezcla ideal con las condiciones necesarias para un correcto procesamiento.

En nuestro medio la industria de refinación de hidrocarburos realiza la mezcla de crudos mediante mezcla de componentes en línea simultáneamente por tal razón y realizando la investigación pertinente, con este proyecto se busca encontrar un modelo que se ajuste a las condiciones de los crudos ecuatorianos. Este modelamiento permitirá optimizar los procesos de refinación pues al encontrar la mezcla de ideal se podrá reducir el residuo de refinación que influye directamente en la relación beneficio-costos. En otras palabras, se podrá aprovechar en mayor porcentaje el crudo pesado con una mayor cantidad de productos refinados y por ende una operación más rentable en términos económicos.

### 1.3. Propuesta

Debido a la ausencia de un modelo matemático para el proceso de mezcla de crudo, se plantea un algoritmo computacional que simule este proceso, entre petróleo crudo muerto liviano y petróleo crudo muerto pesado con el propósito de establecer las mejores condiciones del mezclado que optimicen el trabajo efectuado por las unidades de destilación.

El desarrollo de este algoritmo se enfoca en la variación de viscosidades como variable principal del modelo, para lo cual será necesario utilizar correlaciones matemáticas de viscosidad-temperatura y conocer el comportamiento de las fases de petróleo crudo. La validación de este modelo se realizará mediante pruebas de laboratorio las cuales permitirán establecer el error experimental.

Con ayuda del software Matlab se presentará una interfaz para encontrar las condiciones ideales de mezclado entre crudos de 21° API y 40° API.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Desarrollar una aplicación computacional mediante el software MatLab utilizando un modelo matemático para predecir el comportamiento de una mezcla binaria de crudo.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el modelo matemático con mejor ajuste en la realización de una mezcla de petróleo liviano y pesado.
- Establecer el porcentaje de error del modelo mediante pruebas de laboratorio.
- Presentar un algoritmo computacional en la interfaz del lenguaje de programación MatLab.

## **1.5. Propiedades del crudo**

### **1.5.1. Viscosidad**

La viscosidad es una medida cuantitativa de la resistencia de un fluido a fluir. En otras palabras, es la capacidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El movimiento a través del aire es simple debido a su baja viscosidad, sin embargo desplazarse en el agua resulta más difícil pues su viscosidad es 50 veces mayor; pero aún más difícil es moverse a través de aceite SAE 30 cuya viscosidad es 300 veces mayor a la del agua (Frank White,2003).

La viscosidad del crudo es un factor crucial para el área de refinación, particularmente durante la operación de las unidades de destilación ya que su eficiencia depende en gran parte de ello. La refinación de crudos altamente viscosos representa costos elevados por tanto es necesario encontrar una alternativa económicamente rentable.

Una opción es la disolución que nos permite obtener un mejor rendimiento en las unidades de destilación al disminuir la



viscosidad del crudo mediante la adición de hidrocarburos más livianos.

#### **1.5.1.1. Viscosidad dinámica**

A medida que un fluido se desplaza en su interior se genera un esfuerzo cortante el cual dependerá de la viscosidad. Por tanto, la viscosidad dinámica o absoluta es la magnitud entre dicho esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Sus unidades son: Pa.s en el sistema internacional,  $lb.s/ft^2$  en el sistema inglés y poises en el sistema cgs. Para fines prácticos se emplea el cP.

#### **1.5.1.2. Viscosidad cinemática**

Está definida como la razón entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad, a la temperatura a la cual la viscosidad fue medida (Robert Mott,

2006). Las unidades de la viscosidad cinemática son:  $\text{m}^2/\text{s}$  en el sistema internacional,  $\text{pie}^2/\text{s}$  en el sistema inglés y stoke en el sistema cgs. En la industria petrolera se utiliza ampliamente el cSt (tesis modelo computacional).

## **1.5.2. Tipo de fluidos**

El estudio de las características y la deformación de un flujo se denomina reología (Robert Mott,2006). Es importante determinar si un fluido es newtoniano o no newtoniano.

### **1.5.2.1. Fluidos newtonianos**

Un fluido newtoniano es aquel cuya viscosidad se considera constante con el tiempo pero depende de la temperatura o presión a la que se encuentre. Estos fluidos son incomprensibles, isotrópicos e irreales, entre los más comunes tenemos agua, aceite, gasolina, alcohol, keroseno y benceno.

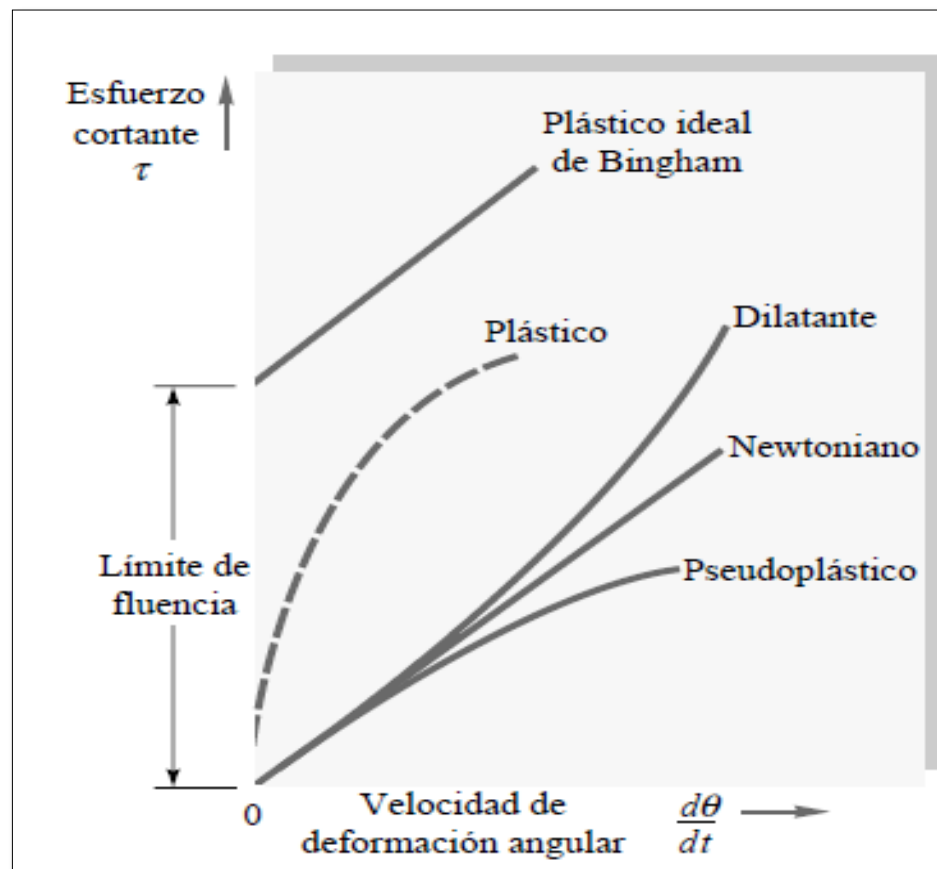
La curva del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad para este tipo de fluidos se caracteriza por un comportamiento lineal, es decir el fluido se deformará con una velocidad que es directamente proporcional al esfuerzo aplicado como se observa en la Figura 1.1.

#### **1.5.2.2. Fluidos no newtonianos**

Un fluido no newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido o constante. Al contrario de un fluido newtoniano no existe una relación lineal entre el esfuerzo de corte y su gradiente de velocidad tal como se observa en la Figura 1.1, se deforma continuamente en el tiempo dependiendo del esfuerzo y la dirección de la fuerza aplicada.

Es conveniente clasificar a este tipo de fluidos según su comportamiento en el tiempo, pueden ser: dependientes del tiempo o independientes del tiempo. Los fluidos independientes mantienen su viscosidad

constante con respecto al tiempo y a cualquier esfuerzo cortante aplicado, pero los fluidos dependientes cambian su viscosidad si el tiempo varía.



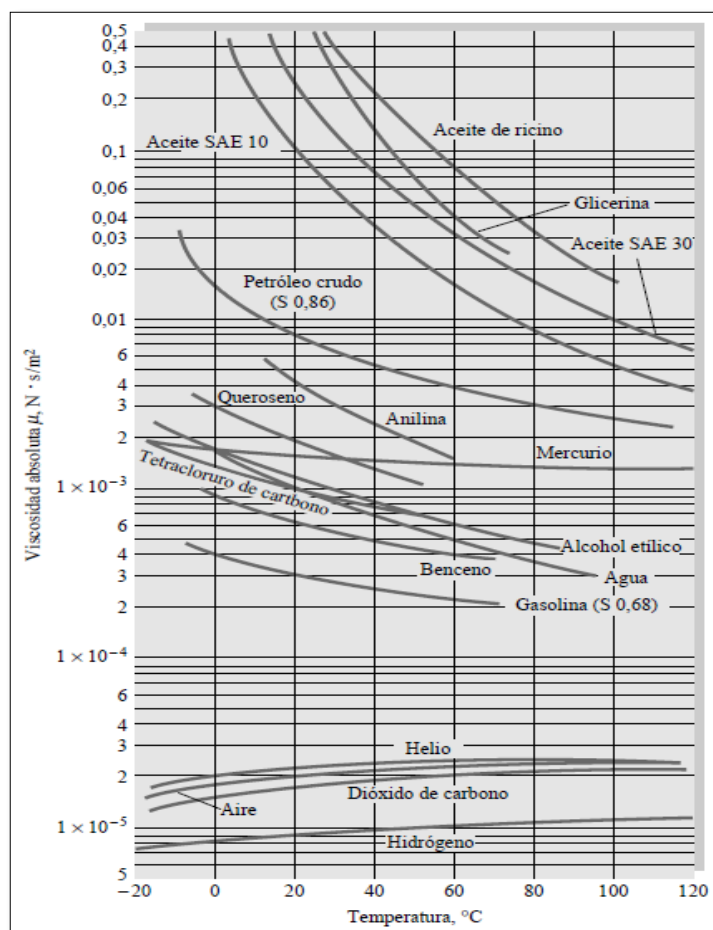
**Figura 1.1** Curva de Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para un fluido newtoniano.

**Fuente:** White, F., 2003.

### **1.5.3. Variación de la viscosidad con la temperatura**

La viscosidad es un indicador del movimiento molecular de un fluido. Las moléculas de alta velocidad global colisionan con las moléculas de menor velocidad y, viceversa. Estos movimientos moleculares son aleatorios y se ven afectados por la temperatura del medio por tanto, la viscosidad es una función de la temperatura (Johanna Mora,2013).

La viscosidad de un líquido disminuye notablemente a medida que se incrementa la temperatura como se muestra en la Figura 1.2. En cierto grado, todos los fluidos muestran este comportamiento (Robert Mott, 2006). Ciertos líquidos pueden ser más sensibles a la temperatura que otros, un mínimo cambio puede causar cambios significativos en la viscosidad. Típicamente la variación es de aproximadamente 2% por cada grado Celsius (Johanna Mora,2013).



**Figura 1.2** Gráfica Viscosidad absoluta vs Temperatura.

**Fuente:** White, F., 2003.

La viscosidad del petróleo es función de la temperatura, presión, gravedad específica y solubilidad del gas. Cuando más viscoso sea el petróleo considerado, mayor será la reducción de la viscosidad (Douglas Alvarado & Carlos Banzér, 2002). En lo posible esta viscosidad debe determinarse mediante pruebas de laboratorio a

las condiciones de reservorio, si esta información no está disponible se utilizan correlaciones de viscosidad-temperatura las cuales pueden variar en complejidad y exactitud acorde a la disponibilidad de información (Ahmed Tarek, 1946).

Dependiendo de la presión, la viscosidad del crudo puede clasificarse en tres categorías (Ahmed Tarek, 1946):

- **Viscosidad de crudo muerto**

Esta viscosidad está definida como la viscosidad del crudo a presión atmosférica (no hay gas en solución) y a temperatura del sistema.

- **Viscosidad de crudo saturado**

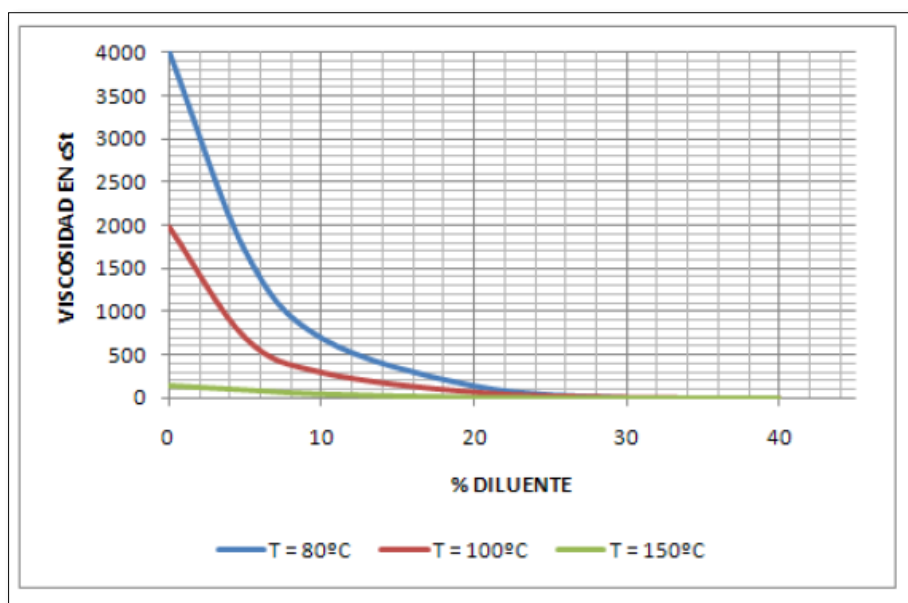
Se refiere a la viscosidad del crudo a la presión del punto de burbuja y temperatura de yacimiento.

- **Viscosidad de crudo sobresaturado**

Es la viscosidad del crudo a la presión sobre la presión del punto de burbuja y temperatura de yacimiento.

En lo referente a mezclas de hidrocarburos, se considera que tienen un comportamiento ideal cuando se encuentran a elevadas

temperaturas. Al incrementarse el porcentaje de hidrocarburo liviano la mezcla es más estable y la temperatura va perdiendo efecto sobre la viscosidad.



**Figura 1.3** Viscosidad de la mezcla vs fracción de diluyente.

**Fuente:** Romero, A., Quiroga, C., 2010.

#### 1.5.4. Medición de viscosidad

Existe gran variedad de procedimientos y equipos para medir la viscosidad, algunos utilizan principios de la mecánica de fluidos mientras otros únicamente indican valores relativos para compararlos con otros fluidos (Robert Mott, 2006). El instrumento



que determina el comportamiento del flujo de una sustancia es el viscosímetro o reómetro. ASTM Internacional establece los estándares para medir y reportar mediciones de viscosidad (Robert Mott, 2006).

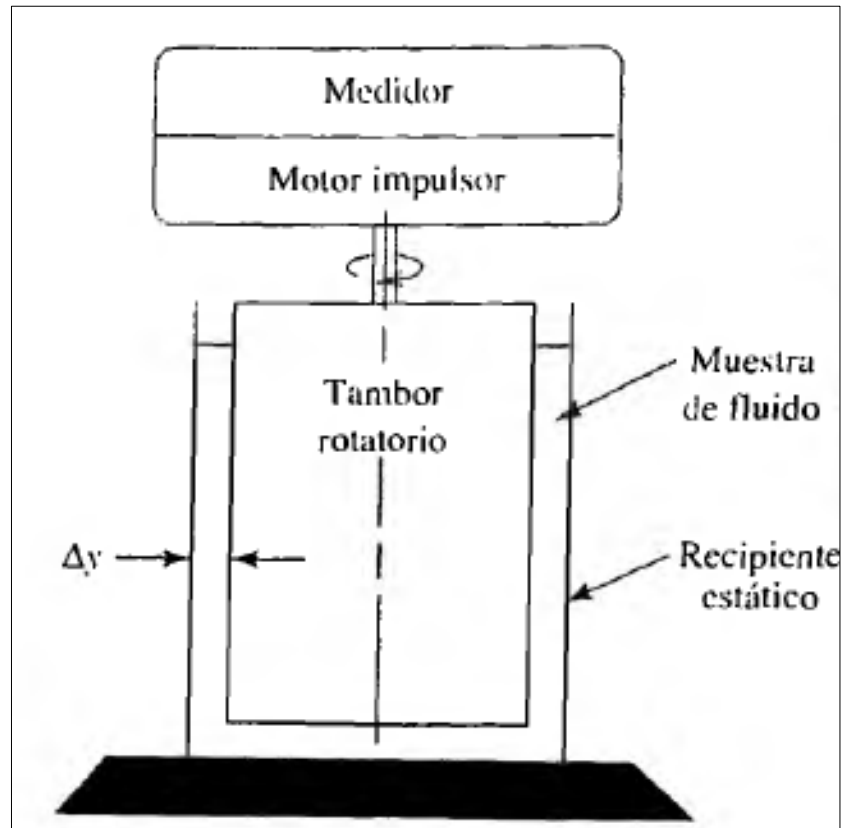
#### 1.5.4.1. Viscosímetro de tambor rotatorio

Este dispositivo mide la viscosidad dinámica descrita por la siguiente ecuación:

$$\eta = \tau / \left( \frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \quad \text{ec. 1}$$

El recipiente externo se encuentra fijo mientras el tambor rota, entre ellos existe un pequeño espacio denominado  $\Delta y$ . La porción de fluido en contacto con el recipiente se mantiene estacionaria pero la otra porción en contacto con el tambor adquiere una velocidad similar a éste, en consecuencia un gradiente de velocidad  $\left( \frac{\Delta v}{\Delta y} \right)$  se genera. La viscosidad del fluido origina un esfuerzo cortante que actúa sobre el tambor a través de un torque de

arrastre. Este arrastre es registrado en el medidor para posteriormente indicar el valor de la viscosidad en la pantalla analógica (Robert Mott, 2006).



**Figura 1.4** Esquema de los componentes de un viscosímetro de tambor rotatorio.

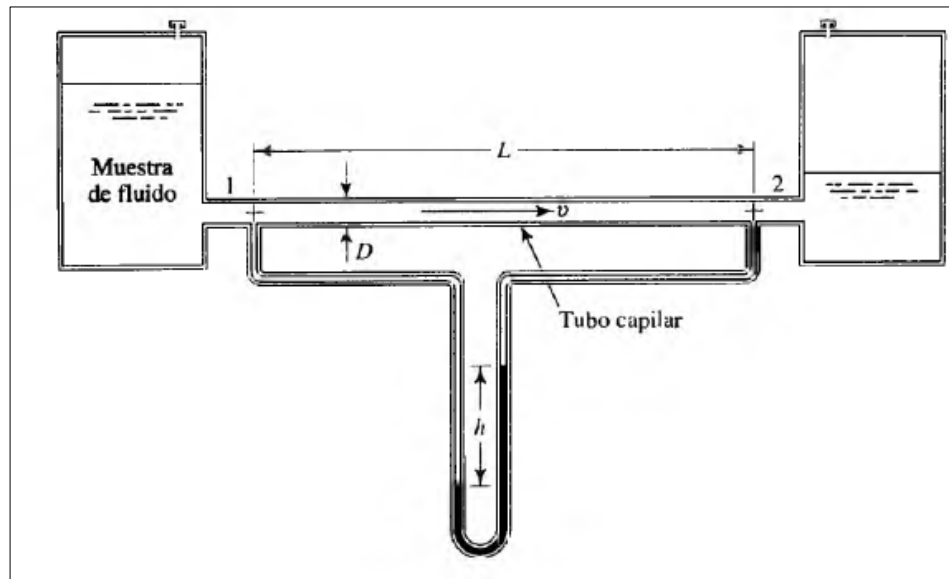
**Fuente:** Mott, R., 2006.

#### 1.5.4.2. Viscosímetro de tubo capilar

Consta de dos depósitos conectados por un tubo capilar. A medida que el fluido atraviesa el tubo a velocidad constante parte de la energía del sistema se pierde, lo que resulta en una caída de presión que se mide con un manómetro. Esta caída de presión está relacionada con la viscosidad del fluido mediante la expresión (Robert Mott, 2006):

$$\eta = \frac{(p_1 - p_2) D^2}{32 \nu L} \quad \text{ec. 2}$$

Donde D se refiere al diámetro del tubo,  $\nu$  la velocidad del fluido y L la distancia entre los puntos donde se mide la presión.



**Figura 1.5** Esquema de un viscosímetro de tubo capilar.  
**Fuente:** Mott, R., 2006.

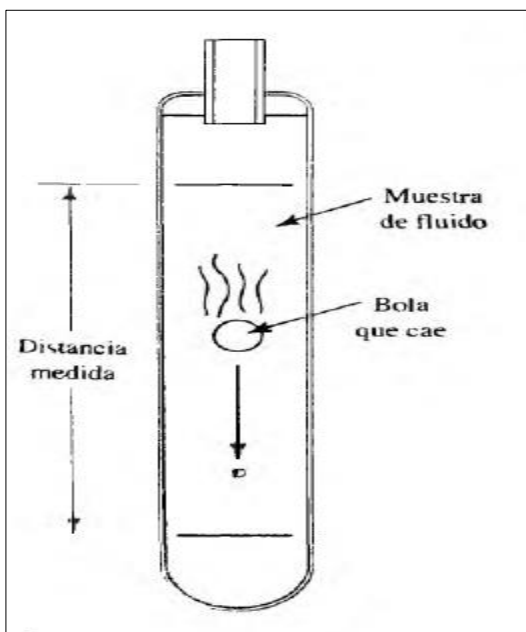
#### 1.5.4.3. Viscosímetro de bola que cae

Un cuerpo en caída libre acelerará hasta alcanzar el equilibrio entre su peso y la fuerza de flotación y arrastre viscoso que actúan hacia arriba. La velocidad alcanzada en ese instante se denomina velocidad terminal. El viscosímetro de bola se basa en este principio, permite la caída libre de una bola esférica y estima el tiempo necesario para recorrer una distancia determinada. Así con esta información

se puede calcular la velocidad y posteriormente la viscosidad con la expresión (Robert Mott, 2006):

$$\eta = \frac{(\gamma_s - \gamma_f) D^2}{18v} \quad \text{ec. 3}$$

El fluido a utilizar debe ser transparente para poder registrar visualmente el tiempo de descenso, sin embargo algunos viscosímetros poseen sensores que determinan la posición de la bola lo cual hace posible el uso de fluidos opacos.



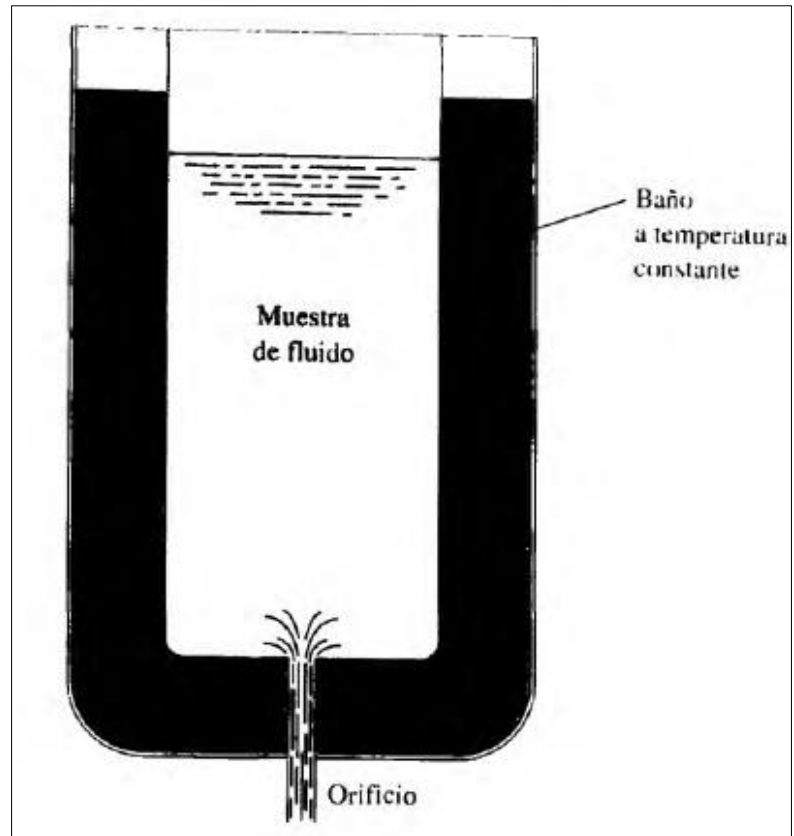
**Figura 1.6** Esquema de un viscosímetro de bola que cae.

**Fuente:** Mott, R., 2006.

#### **1.5.4.4. Viscosímetro de saybolt universal**

La facilidad de un fluido para atravesar un orificio pequeño es un indicador de la viscosidad. El viscosímetro de Saybolt funciona bajo este principio. La muestra de fluido se coloca en el viscosímetro y se establece el flujo, a continuación se mide el tiempo requerido para recolectar 60 ml de muestra y este tiempo registrado es equivalente a la viscosidad del fluido en segundos Universales (SUS) (Robert Mott, 2006).

La medida obtenida es relativa pues no se basa en la definición de viscosidad pero se puede comparar con la viscosidad de distintos fluidos. Este procedimiento es aplicado ampliamente debido a su sencillez y a sus equipos pocos complejos. El uso del viscosímetro de Saybolt está avalado por el estándar ASTM D88 (Robert Mott, 2006).



**Figura 1.7** Esquema de un viscosímetro de Saybolt.

**Fuente:** Mott, R., 2006.

## 1.6. Gravedad API

El Instituto Americano de Petróleo (API) es una de las mayores asociaciones de la industria de petróleo y gas, entre sus principales funciones se destaca el desarrollo y certificación de los estándares de la industria. Uno de los estándares más importantes que ha desarrollado es el método de medición de la densidad del petróleo, la gravedad API.

La gravedad API es una escala de gravedad específica que permite determinar la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo (glosario de schlumberger). Esta medida indica cuan pesado o liviano es un crudo comparándolo con el agua, si los grados API son superiores a 10 el crudo es más liviano que el agua y por tanto flotaría en esta. El crudo liviano se prefiere sobre el crudo pesado ya que posee grandes cantidades de hidrocarburos que pueden convertirse en gasolina.

La relación entre la gravedad API y la densidad es inversamente proporcional es decir, mientras más denso sea un petróleo menor será la medida de gravedad API. Esta magnitud se expresa en grados y está diseñada de manera tal que los valores se encuentran entre 10° y 70°. La fórmula utilizada para calcular la gravedad API es:



$$\textit{Gravedad API} = \left( \frac{141.5}{\textit{Gravedad específica}} \right) - 131.5 \quad \text{ec. 4}$$

Donde la gravedad específica requerida en los cálculos esta medida a 60°F.

## 1.7. Clasificación de crudos

Esta clasificación se realiza en base a tres características importantes del petróleo: contenido de azufre, contenido de parafina y gravedad.

### 1.7.1. Por el contenido de azufre

Los compuestos de azufre pueden ser corrosivos o no. Según el contenido de azufre presente, los petróleos pueden ser dulces, medios o agrios. No existen valores numéricos establecidos para esta clasificación sin embargo se han adoptado los siguientes límites:

- *Petróleo dulce* < 0.5% S
- *Petróleo medio* 0.5% < S < 2%
- *Petróleo agrio* > 2% S

#### **1.7.1.1.      Petróleo dulce**

Es aquel con un contenido sulfuroso menor al 0.5%.  
Este petróleo es de alta calidad y se procesa principalmente para la obtención de gasolina.

#### **1.7.1.2.      Petróleo agrio**

Su contenido de azufre es de al menos el 1%. Al poseer un mayor contenido de azufre su costo de refinación es más elevado, por ello se usa mayoritariamente en productos destilados como el diésel.

#### **1.7.2.      Por el contenido de parafina**

Enfocándose en la proporción del tipo de hidrocarburo contenido en una mezcla, los crudos según su base se clasifican en: parafínica, nafténica, asfáltica y mixta.

- **Base parafínica**

Estos crudos contienen una proporción representativa de hidrocarburos saturados o parafínicos, aproximadamente el 75%. Poseen alta fluidez, colores claros, bajo peso específico y bajo contenido de azufre. En el proceso de destilación se obtienen grandes cantidades de parafina lo cual es útil para la obtención de gasolinas, solventes de pinturas, entre otros.

- **Base nafténica**

Su característica principal es el elevado contenido de fracciones volátiles que se evaporan fácilmente. La proporción de parafinas es menor al 45% con un bajo contenido de azufre. Los productos de destilación son ampliamente usados en la fabricación de aceites lubricantes.

- **Base asfáltica**

Además de carbono e hidrógeno, poseen gran cantidad de azufre. Su viscosidad es elevada al igual que su rendimiento de residuos. En la destilación producen cantidades significativas de alquitrán y asfaltos.

- **Base mixta**

En la realidad ningún crudo es completamente nafténico, asfáltico o parafínico al contrario, su composición es variada con proporciones de los otros tipos caracterizándose por el componente de mayor proporción.

### **1.7.3. Por la gravedad**

Es importante considerar los parámetros internacionales como los del Instituto Americano del Petróleo pues determinan las condiciones de calidad del crudo. Así a mayor gravedad API, mayor calidad.

Según la medida de gravedad API el petróleo puede ser liviano, mediano, pesado y extrapesado.

- Liviano,  $30 < \text{API} < 40$
- Mediano,  $22 < \text{API} < 29.9$
- Pesado,  $10 < \text{API} < 21.9$
- Extrapesado,  $\text{API} < 10$

### **1.7.3.1. Crudo liviano**

Tiene un alto contenido de hidrocarburos de bajo peso molecular lo cual convierte su transportación en una tarea sencilla. Con este crudo se busca obtener la .mayor cantidad posible de combustibles como gasolina, queroseno y diésel.

### **1.7.3.2. Crudo mediano**

La concentración de hidrocarburos de bajo peso molecular es media. Este crudo es empleado en la obtención de combustibles y materia prima para polímeros y parafinas.

### **1.7.3.3. Crudo pesado**

Este tipo de crudo contiene hidrocarburos de mediano peso molecular lo cual dificulta su transportación. A partir del crudo pesado se extraen parafinas, polímeros, combustibles, aceites.

#### **1.7.3.4. Crudo extrapesado**

Es aquel con una alta concentración de hidrocarburos de mayor peso molecular, convirtiéndolo en un crudo pesado de difícil transportación. Con este crudo se obtienen aceites, parafinas, polímeros y betunes.

### **1.8. Mezcla de Hidrocarburos**

Generalmente los crudos no se utilizan en estado puro al contrario se mezclan previo a su procesamiento en orden de optimizar la producción y mejorar la logística. El objetivo de la mezcla es obtener un crudo con propiedades físicas específicas.

Los crudos pesados o extra-pesados no pueden fluir fácilmente desde campo hasta las refinerías en sus condiciones originales, por tal motivo se mezclan con crudos más ligeros con el objetivo de reducir la viscosidad y proporcionar un crudo mezclado con un valor superior al del crudo pesado bruto. Este proceso de mezcla se realiza en un tanque por lotes o por

mezcla de componentes en línea simultáneamente y, a pesar de no ser un proceso complejo el principal problema radica en la estimación de la proporción de sus componentes.

### 1.8.1. Condición de idealidad de una mezcla de crudos

En una mezcla ideal el volumen, la entalpía y la energía interna son iguales a las de sus componentes por separado es decir no existen cambios de volumen. Este tipo de mezclas presentan una relación lineal en la curva viscosidad-composición y, dicho comportamiento ideal se presenta cuando la mezcla se encuentra a temperaturas elevadas.

Además es importante mencionar que la viscosidad de una mezcla ideal obedece la regla de la ecuación de mezclas simples:

$$\mu_{mezcla} = \sum X_i \mu_i \quad \text{ec. 5}$$

Sin embargo en la práctica las mezclas presentan características no ideales dificultando la estimación de la viscosidad a partir de las viscosidades de los componentes, por lo tanto se requiere de otras ecuaciones que introducen constantes empíricas para compensar la desviación de la idealidad.

### **1.8.2. Desviación de la idealidad**

La desviación del comportamiento ideal puede estar afectada por un incremento o disminución de viscosidad afectando el grado de interacción de las moléculas de los componentes.

Otro parámetro influyente es el incremento de presión que a su vez incrementa la viscosidad y ocasiona un cambio en el comportamiento molecular. Este cambio aumenta la resistencia de las partículas a desplazarse.

### **1.8.3. Predicción de la viscosidad de mezclas**

El objetivo de la mezcla es disminuir la viscosidad del crudo original aplicando un proceso de dilución el cual consiste en utilizar diluentes o crudos de menor viscosidad para realizar la mezcla.

La viscosidad de la mezcla disminuye a medida que la temperatura incrementa y viceversa, esto se debe al aumento de la velocidad de las moléculas que disminuye la resistencia molecular.



Entre los diluentes más usados tenemos: crudos livianos, nafta, gasolina, condensado, entre otros. La razón por la cual este método resulta tan eficiente es la relación exponencial existente entre la viscosidad del crudo diluido y la fracción en volumen del disolvente.

Estimar la viscosidad de una mezcla de crudos resulta complejo se requiere conocer las viscosidades de la composición de mezclas. Cada componente debe cumplir con determinadas especificaciones de temperatura, volumen y viscosidad a fin de obtener una mezcla apta para el tratamiento y transporte.

Un criterio útil en la estimación de la viscosidad de mezclas es la curva viscosidad vs composición. Esta curva permite establecer si una mezcla es ideal o no a través de la tendencia que presente, la cual depende en gran medida de los componentes líquidos. Si una mezcla es ideal su comportamiento tiende a ser lineal pero si en efecto la mezcla no es ideal, se presenta una tendencia no lineal con presencia de mínimos o máximos o inclusive los dos.

## **CAPÍTULO 2**

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR LA  
VISCOSIDAD DE UNA MEZCLA BINARIA DE CRUDO**

## 2.1. Precedentes de modelos teóricos

Predecir la viscosidad de una mezcla de crudo es uno de los mayores retos en la industria petrolera. Sin embargo esta puede ser expresada por distintos modelos matemáticos.

Centeno et al(2011) utilizó 17 reglas de mezclado para predecir la viscosidad de las muestras de petróleo. Ellos clasificaron a las mezclas puras con un índice de la viscosidad de la mezcla y otros parámetros adicionales. Las mezclas puras son fáciles de aplicar ya que requieren de la viscosidad experimental de los componentes y la composición de las mezclas en términos de volumen, moles o pesos moleculares. Entre estos modelos se encuentran el de Arrhenius(1887), Bingham(1914) y Koval(1963), mientras que los modelos de Prakash(2003),Refutas Baird(1989), Maxwell(1950),Wallace y Henry(1987), Chevron Riazzi(2005) y Cragoe(1993).

Por otro lado las reglas de mezclado con parámetros adicionales incluyen realizar cálculos de parámetros extras los cuales son obtenidos usualmente por modelos matemáticos, entre estos se encuentran los modelos desarrollados por Myadonie et al.(2000) y Han et al.(2007). Al-

Besharah(1989) correlacionó un modelo basado en la viscosidad,fracción molar y gravedad API de cada componente.

## **2.2. Principales modelos de mezclas de crudo**

Algunos de los métodos más comunes para predecir el comportamiento de una mezcla se presentan en la Tabla I

**Tabla I.** Métodos más utilizados para la predicción de viscosidad de una mezcla

METODO	ECUACIONES
Arrhenius	$\ln \mu_m = \sum_{i=1}^n X_i \ln \mu_i$ <p>Donde X representa la fracción en volumen, peso o molar. El método original usa la fracción volumétrica.</p>
Bingham	$\mu_m^{-1} = \sum_{i=1}^n V_i \mu_i^{-1}$ <p>Donde <math>V_i</math> es la fracción volumétrica y <math>\mu_i</math> es la viscosidad absoluta.</p>
Kendall y Monroe	$\mu_m = \left( \sum_{i=1}^n x_i \mu_i^{1/3} \right)^3$
Cragoe	$I_{Cr_i} = \frac{1000 \ln(20)}{\ln\left(\frac{\mu_i}{0,0005}\right)} \quad y \quad I_{Cr} = \sum_{i=1}^n w_i I_{Cr_i}$
Refutas	$I_{R_i} = 14.534 \ln \ln(v_i + 0.8) + 10.975 \quad y \quad I_R = \sum_{i=1}^n w_i I_{R_i}$ <p>Donde <math>v_i</math> es la viscosidad cinemática.</p>
Maxwell	$I_{M_i} = 59.58959 - 21.837 \ln \ln(v_i + 0.8) \quad y \quad I_M = \sum_{i=1}^n V_i I_{M_i}$
Chevron 1	$I_{C_1} = \sum_{i=1}^n V_i \frac{0.1749 + 0.2681 \ln v_i + 0.0261 (\ln v_i)^2}{1 + 0.4027 \ln v_i + 0.0164 (\ln v_i)^2} \quad y \quad I_{C_1} = \sum_{i=1}^n V_i I_{C_{1i}}$
Chevron 2	$I_{C_{2i}} = \frac{\ln v_i}{\ln(1000 \cdot v_i)} \quad y \quad I_{C_2} = \sum_{i=1}^n V_i I_{C_{2i}}$
Shu	$\ln \mu_m = a_1 \ln \mu_1 + a_2 \ln \mu_2$ $a_1 = \frac{\alpha V_1}{\alpha V_1 + V_2}; \quad a_2 = 1 - a_1$ <p>El término <math>\alpha</math> es una constante empírica</p> $\alpha = \frac{17.04(\rho_1 - \rho_2)^{0.5237} \rho_1^{3.2745} \rho_2^{1.6316}}{\ln\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)}$ <p>Donde <math>\rho_1 &gt; \rho_2</math></p>

**Fuente:** Romero, A., Quiroga, C., 2010

## **2.2.1. Modelos con mayor aplicabilidad**

Entre los 5 modelos más usados se encuentran:

- Modelo de Arrhenius
- Modelo de Walther
- Modelo de Kendall-Monroe
- Modelo de Bingham
- Modelo de Cragoe

### **2.2.1.1. Descripción de los modelos más frecuentes**

El modelo de Arrhenius es el más apropiado para relaciones elevadas de viscosidad, es decir que puede calcular exitosamente la viscosidad de una mezcla de un crudo de baja gravedad API con una de alta gravedad API.

El modelo de Walther por el contrario no es adecuado para mezclas de crudo que muestren comportamiento de fluidos no newtonianos.

El modelo de Kendall-Monroe es recomendado por el Instituto Americano del Petróleo para calcular la viscosidad de una mezcla de hidrocarburo puro a presiones bajas, con la premisa de tener pesos moleculares similares, por lo que la aplicación de este modelo se encuentra muy limitado.

El modelo de Bingham es propuesto en base a una solución ideal por lo que presenta un error muy alto al calcular la viscosidad de una mezcla binaria de crudo.

El modelo de Cragoe presenta un amplio rango de aplicaciones por lo tanto con este se espera obtener una alta exactitud en la predicción de la viscosidad de una mezcla binaria de crudo. (Yunping et al.2010)

#### **2.2.1.2. Ecuaciones matemáticas de los principales modelos de mezclas de crudo**

Las expresiones para estos cinco modelos son las siguientes:

- **Modelo de Arrhenius:**

$$\ln \mu = V_A \ln \mu_A + V_B \ln \mu_B \quad \text{ec 6}$$

- **Modelo de Walther:**

$$\ln \ln(\mu + C) = V_A \ln \ln(\mu_A + C) + V_B \ln \ln(\mu_B + C) \quad \text{ec. 7}$$

- **Modelo de Kendall-Monroe**

$$\mu^{1/n} = V_A \mu_A^{1/n} + V_B \mu_B^{1/n} \quad \text{ec. 8}$$

- **Modelo de Bingham**

$$\mu^{-1} = V_A \mu_A^{-1} + V_B \mu_B^{-1} \quad \text{ec. 9}$$

- **Modelo de Cragoe**

$$\frac{1}{\ln(2000 \mu)} = \frac{V_A}{\ln(2000 \mu_A)} + \frac{V_B}{\ln(2000 \mu_B)} \quad \text{ec.10}$$

### 2.3. Criterios de selección del modelo

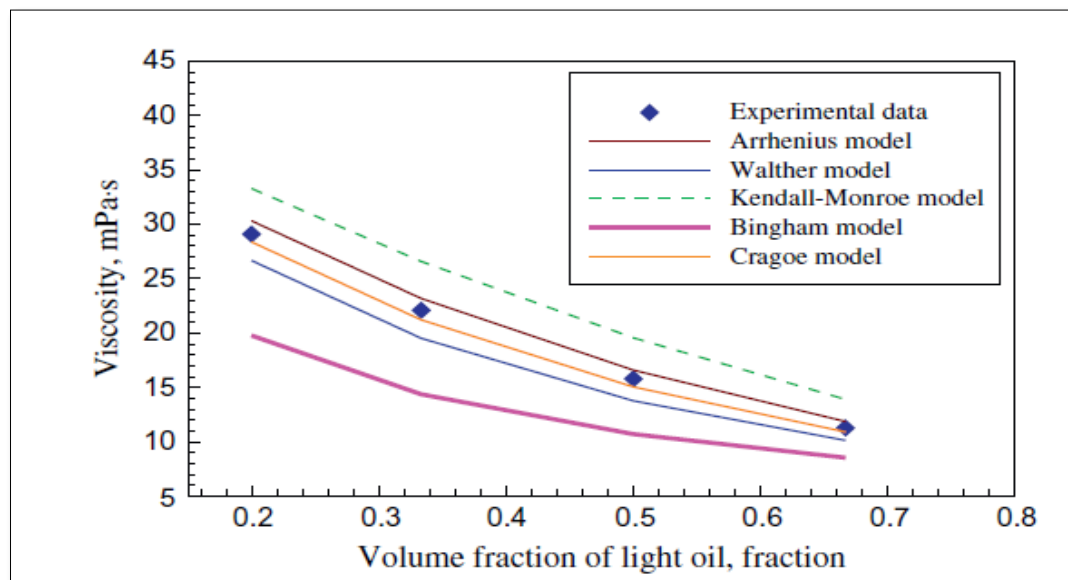
Para la selección del modelo de viscosidad a usar en el proyecto, los métodos previamente señalados como los más usados en la industria se evaluaron de acuerdo a la relación del porcentaje de error con respecto a la viscosidad, estableciendo una relación directamente proporcional entre



estas dos variables, es decir que a medida que aumente la viscosidad se espera a su vez un aumento proporcional del porcentaje de error.

Adicionalmente, en base a los reportes de literatura se espera que el Modelo de Arrhenius sea el cual presente el menor porcentaje de error ya que se tiene la premisa que es el modelo más idóneo para trabajar con altas relaciones de viscosidad, es decir una mezcla entre petróleo liviano y petróleo pesado, características que tienen los crudos que se evaluarán en este proyecto.

Como sustento a este criterio se presenta la siguiente gráfica, en la cual se observa las viscosidades para distintas proporciones de mezclas binarias de crudo entre petróleo liviano y petróleo pesado a una temperatura de 100°C y los resultados calculados son ilustrados usando los cinco modelos previamente descritos.



**Figura 2.1** Viscosidades de distintas proporciones de mezclas binarias de crudo, entre petróleo liviano y petróleo pesado a 100°C

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

En la Figura 2.1 se observa que son los Modelos de Cragoe y de Arrhenius los que presentan mayor precisión. Sin embargo los valores de viscosidades que se obtuvieron en este estudio mediante el método de Cragoe son menores a los valores experimentales, mientras que los datos calculados mediante el método de Arrhenius son mayores a los experimentales.

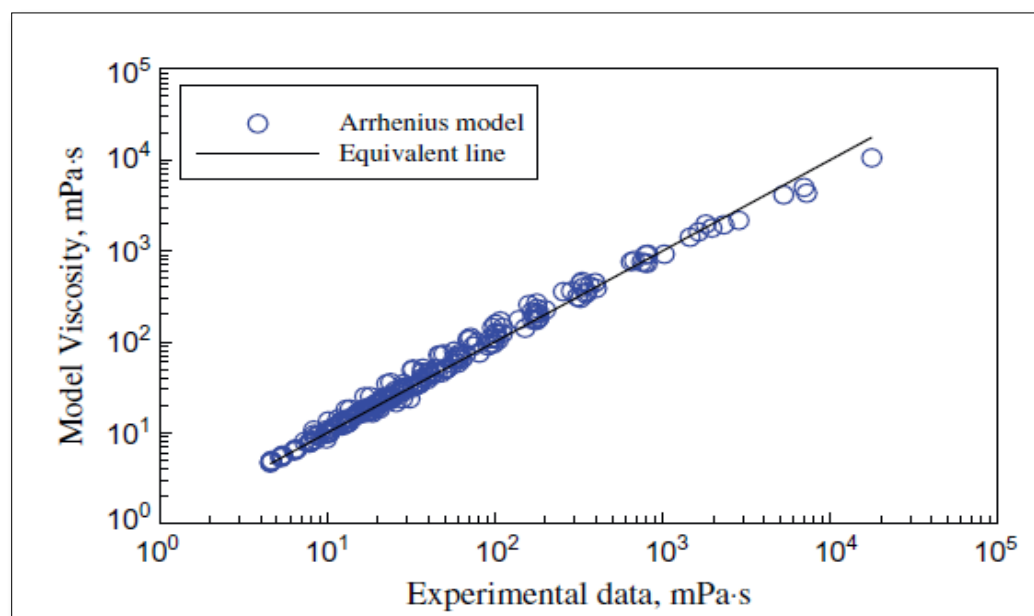
### **2.3.1. Análisis Experimental de Selección**

El análisis que se llevó a cabo consistió en obtener un total de 200 datos de valores de viscosidad de las 20 muestras de mezclas de crudo a 10 distintas temperaturas. Después se realizó una comparación entre el total de los valores experimentales obtenidos y los calculados usando los cinco modelos para de esta manera determinar el modelo con menor porcentaje de error.

A continuación se presentan cada una de las gráficas comparando los valores experimentales con los valores calculados para cada uno de los modelos y su respectiva desviación estándar

#### **2.3.1.1. Resultados experimentales mediante el método de Arrhenius**

En la Figura 2.2 se presenta la comparación entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales.



**Figura 2.2** Comparación entre el modelo de Arrhenius y datos experimentales ( $R^2 = 0.9876$ ).  
**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

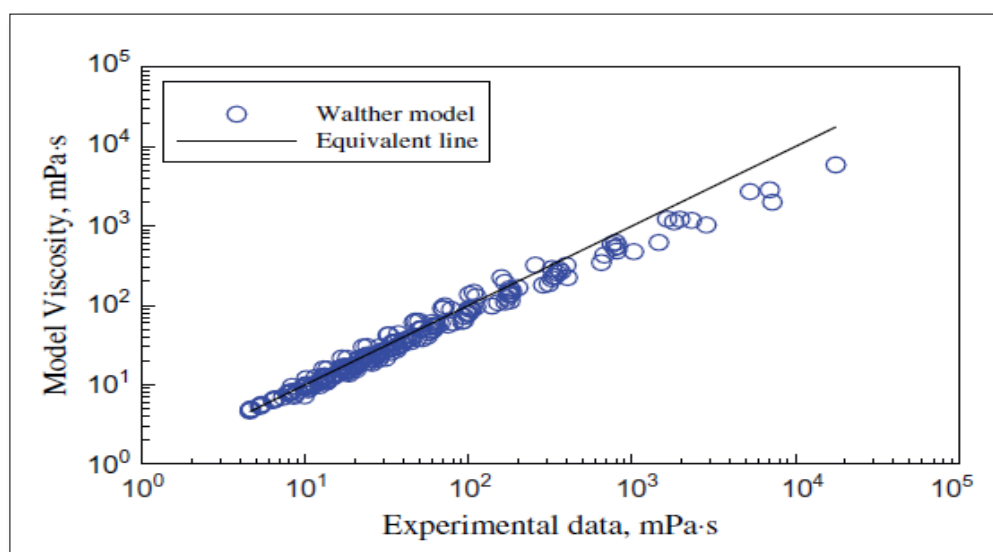
Se puede visualizar que los datos proporcionados mediante el modelo de Arrhenius son consistentes con los datos experimentales, el valor del coeficiente de determinación es igual a 0.9876.

Cuando las viscosidades de las mezclas son menores a 1000mPa s, el ajuste del modelo es mejor y los valores calculados son ligeramente mayores a los experimentales, mientras que cuando los datos son

mayores a 1000 mPa s, estos son en su mayoría menores a los obtenidos en la práctica.

### 2.3.1.2. Resultados Experimentales mediante el método de Walther

A continuación, la figura 2.3 representa la comparación entre los datos calculados por medio del modelo de Walther y los experimentales.



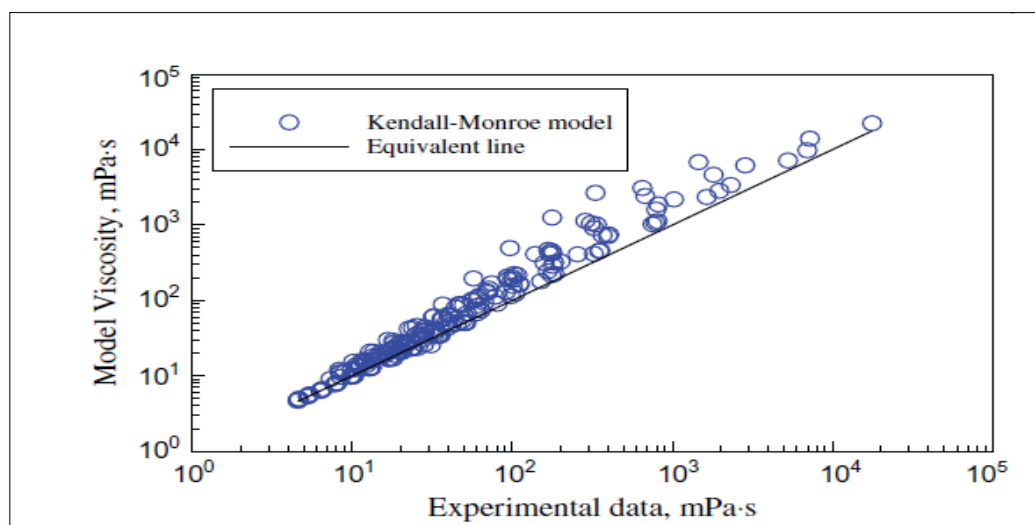
**Figura 2.3** Comparación entre el modelo de Walther y datos experimentales ( $R^2 = 0.9679$ ).

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

Esta gráfica ilustra un comportamiento similar a la que se obtuvo mediante el método de Arrhenius, puesto que de igual manera se tiene que el modelo presenta un mejor ajuste cuando el valor calculado de las viscosidades de las mezclas son menores a 1000 mPa s, pero los datos mediante este modelo son en su mayoría menores a los experimentales, es decir mientras mayores sean los valores de viscosidad calculados, mayor también será el porcentaje de error. El valor del coeficiente de determinación mediante este modelo es de 0.9679

### **2.3.1.3. Resultados experimentales mediante el método de Kendall-Monroe**

La siguiente gráfica, por su parte denominada Figura 2.4 representa la semejanza entre el modelo de Kendall-Monroe y los valores experimentales.



**Figura 2.4** Comparación entre el modelo de Kendall-Monroe y datos experimentales ( $R^2 = 0.8922$ ).

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

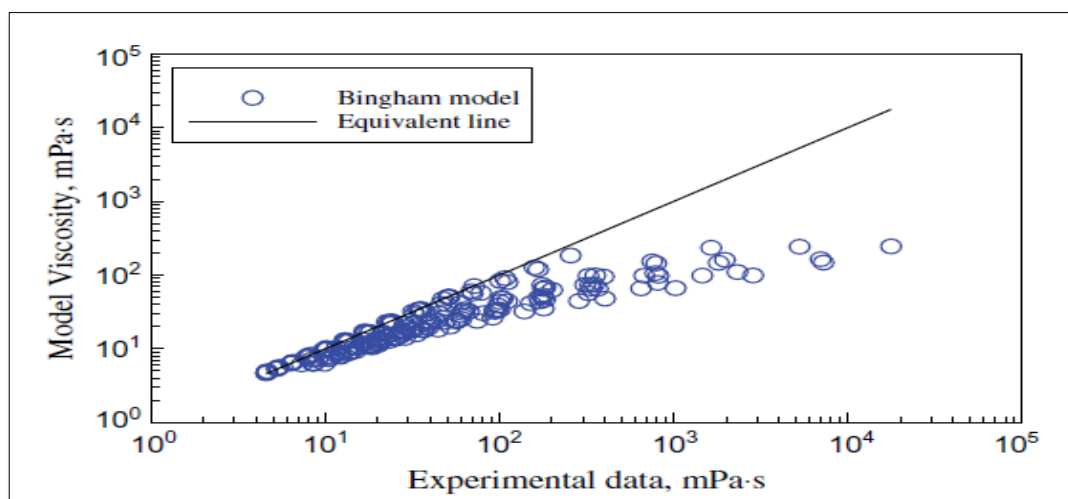
La viscosidad calculada mediante el modelo de Kendall-Monroe es la mayor entre los cinco modelos comparados a las mismas condiciones. Como se observa en la figura los datos de viscosidad calculados son notablemente mayores a los valores experimentales de viscosidad. Aún cuando los valores de viscosidad de las mezclas son bajos, el error sigue siendo alto.

El coeficiente de determinación para este caso es de 0.8922, por lo que es notorio inferir que este modelo no es aplicable para predecir el comportamiento de

una mezcla binaria de crudo entre petróleo liviano y pesado.

#### 2.3.1.4. Resultados Experimentales mediante el método de Bingham

En la siguiente figura, Figura 2.5 se tiene una representación de la similitud que existe entre el Modelo de Bingham y los datos experimentales de viscosidad.



**Figura 2.5** Comparación entre el modelo de Bingham y datos experimentales ( $R^2 = 0.5642$ ).

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

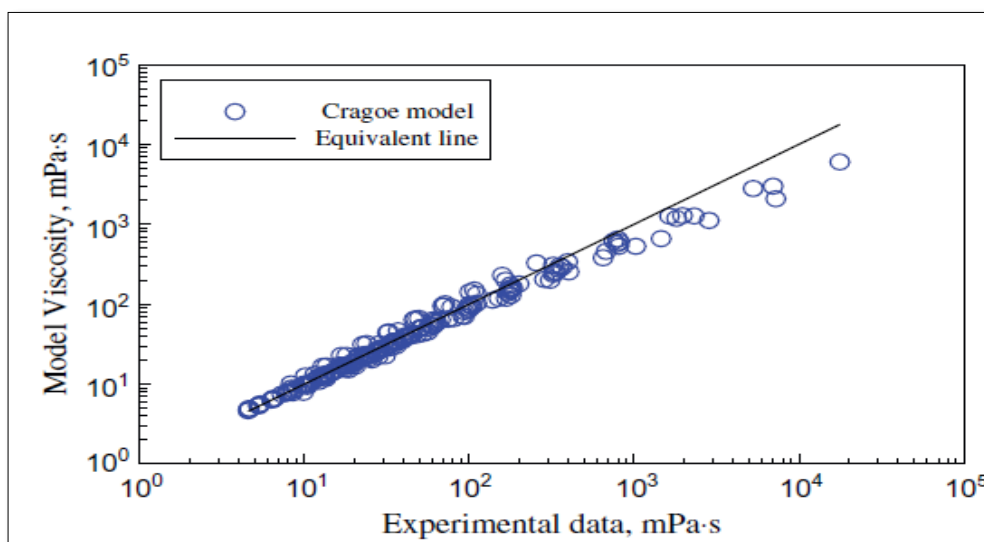


Los valores calculados de viscosidad para este modelo, en contraste al modelo de Kendall-Monroe, son los menores entre los cinco modelos a las mismas condiciones. En su mayoría, los valores que se obtienen mediante el Modelo de Bingham son lejanamente menores a los experimentales, el coeficiente de determinación para este caso es el menor de todos con un valor de 0.5642.

Es claro que este modelo será descartado para realizar un análisis de una mezcla de crudo, en el cual se pretenda realizar combinaciones entre petróleo liviano y pesado como en este caso.

#### **2.3.1.5. Resultados experimentales mediante el método de Cragoe**

Por último, se presenta la comparación entre el Modelo de Cragoe y los datos de viscosidad obtenidos en el laboratorio, datos reflejados en la siguiente figura, Figura 2.6



**Figura 2.6** Comparación entre el modelo de Cragoe y datos experimentales ( $R^2 = 0.9761$ ).

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

Mediante esta gráfica, se puede resaltar que los valores calculados de viscosidad mediante este modelo son ligeramente menores a los datos de viscosidad obtenidos del análisis experimental siempre y cuando sean mayores a 1000 m Pa s. El valor del coeficiente de determinación para este modelo es de 0.9761.

### 2.3.1.6. Determinación del Modelo Matemática con mayor ajuste

**Tabla II.** Análisis del porcentaje de error de los modelos al calcular los valores de viscosidad para una mezcla binaria de crudo

MODELO	PORCENTAJE DE ERROR ABSOLUTO(%)	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R <sup>2</sup> )
Arrhenius	13.26	0.9876
Walther	18.01	0.9679
Kendall-Monroe	57.72	0.8922
Bingham	38.24	0.5642
Cragoe	14.37	0.9761

**Fuente:** Yuanping, G., Kewen, L., 2012.

Los valores de la Tabla II se obtuvieron mediante el análisis individual efectuado a cada uno de los cinco modelos.

Se determina el modelo que presenta menor porcentaje de error absoluto y mayor valor del coeficiente de determinación es el Modelo de Arrhenius, siendo estos valores 13.26% y 0.9876 respectivamente, con lo cual se concluye que este modelo fue el que presentó mejores resultados entre

los cinco modelos estudiados, motivo por el cual será el modelo con el cual se trabajará a lo largo de este proyecto.

**CAPÍTULO 3**  
**IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO DE**  
**ARRHENIUS**

### **3.1. Mezclas binarias de crudo**

#### **3.1.1. Tipos de crudo**

Se presentan las propiedades físicas de tres tipos de crudos con el objetivo de realizar las diferentes mezclas posibles entre crudo pesado y liviano y a su vez analizar su comportamiento a distintas temperaturas.

En el proyecto se trabaja con tres tipos de crudos, dos de ellos son crudos livianos provenientes del campo Ancón y Pacoa de 34.5 °API y 38.1°API respectivamente, mientras que el tercer crudo procede del campo Oriente, con una gravedad API considerablemente menor e igual a 28.2 °API.

**Tabla III.** Gravedad API de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente.

<b>Crudo</b>	<b>°API</b>
Pacoa	34.5
Ancón	38.1
Oriente	28.2

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### 3.1.2. Procedimiento de mezclado

Para realizar las mezclas de crudo se considera un volumen referente de 60ml a partir del cual se realizan combinaciones con distintas proporciones de crudo liviano a temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C.

Se mezcla crudo Oriente con crudo Pacoa y Crudo Oriente con crudo Ancón obteniéndose un total de veinticuatro mezclas. . El arreglo de las mezclas se lo hizo de tal manera para que el porcentaje de crudo liviano aumente gradualmente un 20% en cada combinación, comenzando con un porcentaje del 20% hasta

un 80%.A continuación se detalla en la tabla IV los volúmenes de crudo liviano utilizados para cada proporción.

**Tabla IV.** Volumen de crudo liviano usado en cada mezcla.

<b>Crudo Pesado</b>	<b>Crudo Liviano</b>	<b>Volumen (ml)</b>
80%	20%	12
60%	40%	24
40%	60%	36
20%	80%	48

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

## **3.2. Obtención de Viscosidades Experimentales**

### **3.2.1. Determinación de Gravedad API**

#### **Materiales**

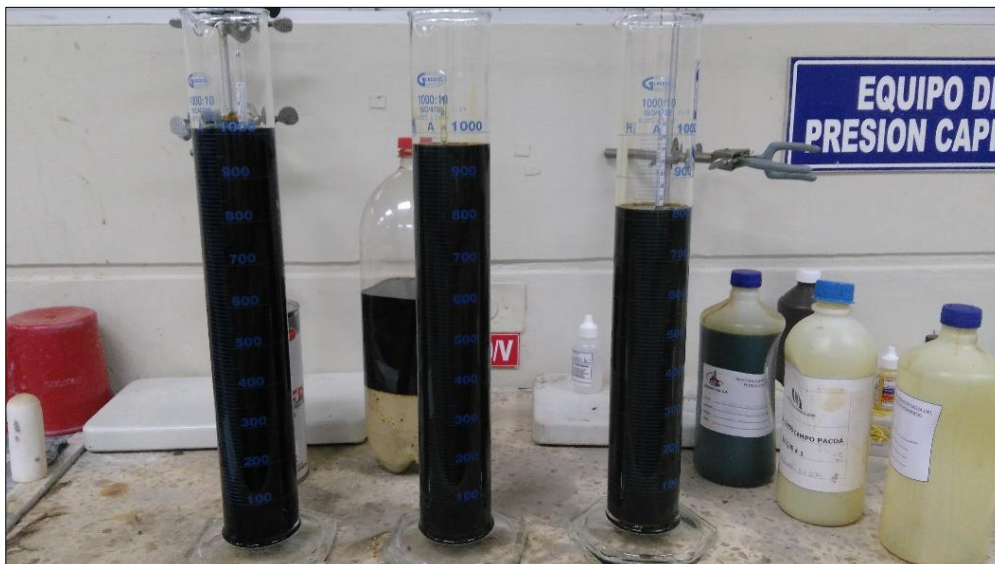
- Hidrómetros de vidrio graduados en gravedad API
- Termómetros
- Probetas de tamaño apropiado



- Muestras de crudo

### **Procedimiento**

- Colocar cuidadosamente la muestra de crudo en una probeta limpia para evitar la formación de espuma. La probeta se ubica en posición vertical en un lugar libre de corrientes de aires donde las fluctuaciones de temperatura sean mínimas.
- Tomar la temperatura del crudo y verificar si es la adecuada para realizar la prueba.
- Introducir suavemente el hidrómetro dentro del crudo sin rozar las paredes del recipiente y esperar hasta que se estabilice.
- Una vez que el hidrómetro se encuentre flotando libremente a temperatura constante, tome la lectura en escala de la división más cercana.



**Figura 3.1** Medición de Gravedad API de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### 3.2.2. Medición de Viscosidad (Método ASTM D-88)

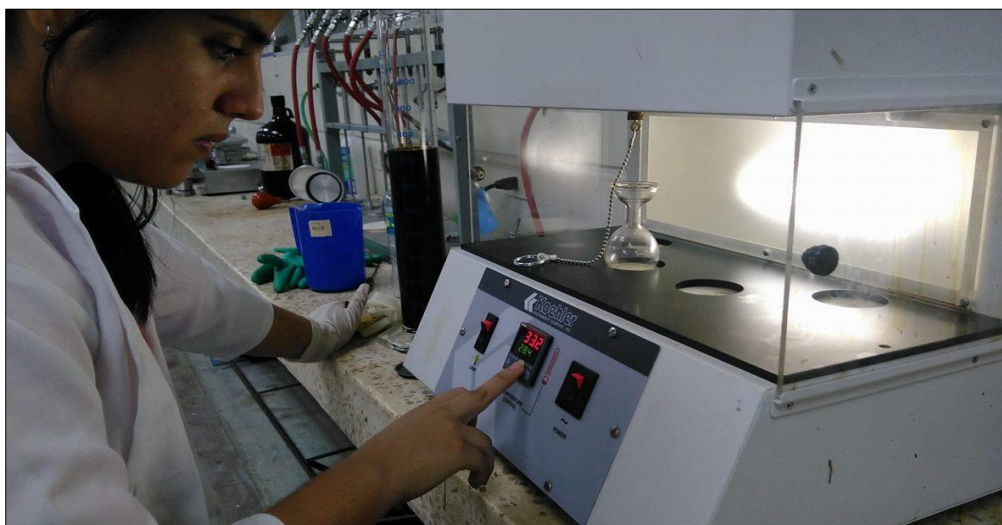
#### Materiales

- Muestras de Crudo
- Viscosímetro de Saybolt
- Cronómetro

#### Procedimiento

- Colocar el tapón en el viscosímetro y verter la muestra de crudo en la copa hasta que se rebose un poco.
- Seleccionar la temperatura de medición requerida en la pantalla digital.
- Tomar la temperatura de la muestra hasta verificar que se ha alcanzado el valor deseado para la prueba.
- En la parte inferior del orificio del viscosímetro se coloca un frasco donde se recolectará la muestra una vez iniciada la prueba.
- Retirar el tapón del viscosímetro y tomar el tiempo que tarda la muestra de crudo en llenar o alcanzar la línea de aforo del frasco recolector.
- Los valores de viscosidad obtenidos en segundos universales de saybolt (SUS) deben transformarse a sus equivalentes en centistokes mediante las tablas de conversión correspondientes (Ver Anexo A).
- Aquellas viscosidades fuera de los rangos de temperatura establecidos en las tablas de conversión, se transforman encontrando su respectivo equivalente en 38°C mediante la siguiente ecuación:

$$SU_{St} = [SU_{S38}(1 + 0.00011(T - 38))] \quad \text{ec. 11}$$



**Figura 3.2** Calibración de la temperatura para la prueba de viscosidad de saybolt.

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### 3.2.3. Viscosidad experimental

Las mediciones de viscosidad realizadas con el viscosímetro de Saybolt proporcionaron los siguientes resultados:

- **Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente**

**Tabla V.** Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 38°C.

<b>Crudo</b>	<b>API</b>	<b>S.G</b>	<b><math>\rho</math> crudo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>v (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
A:Pacoa	38.1	0.8343	0.8343	3.65	3.05
B:Ancón	37.9	0.8353	0.8353	3.75	3.14
C:Oriente	29.3	0.8800	0.8800	11.49	10.11

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla VI.** Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 48°C.

<b>Crudo</b>	<b>API</b>	<b>S.G</b>	<b><math>\rho</math> crudo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>v (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
A:Pacoa	38.70	0.8314	0.8314	2.85	2.37
B:Ancón	39.80	0.8260	0.8260	2.59	2.14
C:Oriente	30.25	0.8748	0.8748	7.55	6.60

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla VII.** Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 58°C.

Crudo	API	S.G	$\rho$ crudo (g/cm <sup>3</sup> )	v (cstk)	$\mu$ (cp)
A:Pacoa	39.80	0.8260	0.8260	2.08	1.72
B:Ancón	41.30	0.8189	0.8189	1.88	1.54
C:Oriente	31.30	0.8692	0.8692	5.38	4.68

Fuente: Andrade, J., González. C., 2017.

- **Viscosidad de la mezcla Pacoa-Oriente**

**Tabla VIII.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 38°C.

Pacoa	Oriente	Tiempo (SSU)	API	$\rho$ mezcla	v (cstk)	$\mu$ (cp)
20%	80%	56.3	29.6	0.8783	9.25	8.124
40%	60%	51.3	33.5	0.8576	7.78	6.674
60%	40%	45.3	36.8	0.8408	5.90	4.964
80%	20%	42.1	39.6	0.8270	4.92	4.071

Fuente: Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla IX.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.

<b>Pacoa</b>	<b>Oriente</b>	<b>Tiempo (SSU)</b>	<b>API</b>	<b><math>\rho_{mezcla}</math></b>	<b>v (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
20%	80%	46	31.4	0.8686	6.13	5.32
40%	60%	43.7	34.4	0.8529	5.41	4.61
60%	40%	39.9	37.6	0.8368	4.21	3.52
80%	20%	38.1	40.5	0.8227	3.66	3.01

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla X.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.

<b>Pacoa</b>	<b>Oriente</b>	<b>Tiempo (SSU)</b>	<b>API</b>	<b><math>\rho_{mezcla}</math></b>	<b>v (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
20%	80%	40.5	32.4	0.8633	4.42	3.81
40%	60%	38.1	35.3	0.8483	3.67	3.11
60%	40%	36	38.2	0.8338	2.98	2.48
80%	20%	35	41.8	0.8165	2.71	2.21

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

- **Viscosidad de las mezclas Ancón-Oriente**

**Tabla XI.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 38°C.

<b>Ancón</b>	<b>Oriente</b>	<b>Tiempo (SSU)</b>	<b>API</b>	<b><math>\rho_{mezcla}</math></b>	<b><math>v</math> (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
20%	80%	57.65	31.4	0.8686	9.65	8.378
40%	60%	49.9	33.5	0.8576	7.34	6.297
60%	40%	46.3	34.4	0.8529	6.22	5.302
80%	20%	41.7	36.4	0.8428	4.77	4.019

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XII.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.

<b>Ancón</b>	<b>Oriente</b>	<b>Tiempo (SSU)</b>	<b>API</b>	<b><math>\rho_{mezcla}</math></b>	<b><math>v</math> (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
20%	80%	45.2	31.8	0.8665	5.87	5.084
40%	60%	42	33.9	0.8555	4.88	4.173
60%	40%	39.4	35.4	0.8478	4.06	3.445
80%	20%	36.3	37.8	0.8358	3.10	2.594

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Tabla XIII.** Viscosidad de mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.

<b>Ancón</b>	<b>Oriente</b>	<b>Tiempo (SSU)</b>	<b>API</b>	<b><math>\rho_{mezcla}</math></b>	<b>v (cstk)</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
20%	80%	40.3	33.6	0.8571	4.34	3.716
40%	60%	37.2	35.5	0.8473	3.39	2.874
60%	40%	35	37.3	0.8383	2.70	2.264
80%	20%	33.5	39.7	0.8265	2.27	1.878

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### 3.3. Obtención de Viscosidades mediante el modelo de Arrhenius

Las viscosidades teóricas de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente se determinaron mediante la correlación de Glaso, mientras las viscosidades de las mezclas se obtuvieron aplicando el modelo de Arrhenius. En las tablas siguientes se detallan los resultados obtenidos.

- **Viscosidad de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente**

**Tabla XIV.** Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 38°C.

<b>Crudo</b>	<b>API</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
A:Pacoa	38.1	2.882
B:Ancón	37.9	2.949
C:Oriente	29.3	9.410

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XV.** Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 48°C.

<b>Crudo</b>	<b>API</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
A:Pacoa	38.70	2.147
B:Ancón	39.80	1.914
C:Oriente	30.25	6.142

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XVI.** Viscosidad teórica de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a 58°C.

<b>Crudo</b>	<b>API</b>	<b><math>\mu</math> (cp)</b>
A:Pacoa	39.80	1.584
B:Ancón	41.30	1.371
C:Oriente	31.30	4.191

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

- **Viscosidad de las mezclas Pacoa-Oriente**

**Tabla XVII.** Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 38°C.

<b>VI (ml)</b>	<b>Vp(ml)</b>	<b><math>\mu</math>l (cp)</b>	<b><math>\mu</math>p</b>	<b>% VI</b>	<b>%Vp</b>	<b>ln (<math>\mu</math>m)</b>	<b><math>\mu</math>m</b>
12	48	2.882	9.410	0.2	0.8	2.01	7.43
24	36	2.882	9.410	0.4	0.6	1.77	5.86
36	24	2.882	9.410	0.6	0.4	1.53	4.63
48	12	2.882	9.410	0.8	0.2	1.30	3.65

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XVIII.** Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.

VI (ml)	Vp(ml)	$\mu$ l (cp)	$\mu$ p	% VI	%Vp	ln ( $\mu$ m)	$\mu$ m
12	48	2.147	6.142	0.2	0.8	1.61	4.98
24	36	2.147	6.142	0.4	0.6	1.39	4.03
36	24	2.147	6.142	0.6	0.4	1.18	3.27
48	12	2.147	6.142	0.8	0.2	0.97	2.65

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XIX.** Viscosidad teórica de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.

VI (ml)	Vp(ml)	$\mu$ l (cp)	$\mu$ p	% VI	%Vp	ln ( $\mu$ m)	$\mu$ m
12	48	1.584	4.191	0.2	0.8	1.24	3.45
24	36	1.584	4.191	0.4	0.6	1.04	2.84
36	24	1.584	4.191	0.6	0.4	0.85	2.34
48	12	1.584	4.191	0.8	0.2	0.65	1.92

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

- **Viscosidad de las mezclas Ancón-Oriente**

**Tabla XX.** Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 38°C.

VI (ml)	Vp(ml)	$\mu$ l (cp)	$\mu$ p	% VI	%Vp	ln ( $\mu$ m)	$\mu$ m
12	48	2.949	9.410	0.2	0.8	2.01	7.46
24	36	2.949	9.410	0.4	0.6	1.78	5.92
36	24	2.949	9.410	0.6	0.4	1.55	4.69
48	12	2.949	9.410	0.8	0.2	1.31	3.72

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXI.** Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 48°C.

VI (ml)	Vp(ml)	$\mu$ l (cp)	$\mu$ p	% VI	%Vp	ln ( $\mu$ m)	$\mu$ m
12	48	1.914	6.142	0.2	0.8	1.58	4.86
24	36	1.914	6.142	0.4	0.6	1.35	3.85
36	24	1.914	6.142	0.6	0.4	1.12	3.05
48	12	1.914	6.142	0.8	0.2	0.88	2.42

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXII.** Viscosidad teórica de las mezclas Ancón-Oriente a 58°C.

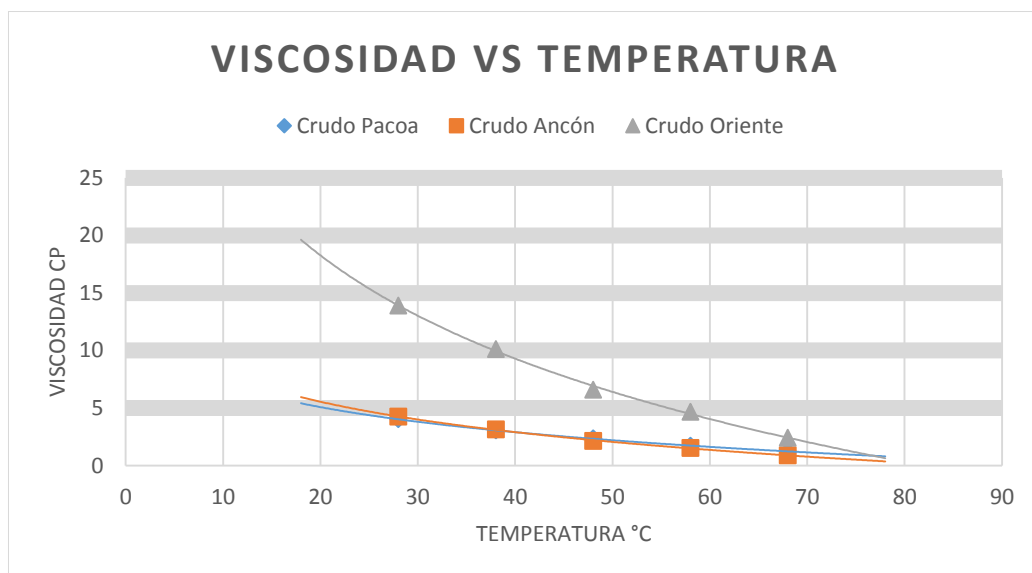
VI (ml)	Vp(ml)	$\mu_l$ (cp)	$\mu_p$	% VI	%Vp	ln ( $\mu m$ )	$\mu m$
12	48	1.371	4.191	0.2	0.8	1.21	3.35
24	36	1.371	4.191	0.4	0.6	0.99	2.68
36	24	1.371	4.191	0.6	0.4	0.76	2.14
48	12	1.371	4.191	0.8	0.2	0.54	1.71

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### 3.4. Análisis de resultados

#### 3.4.1. Comportamiento de la viscosidad versus temperatura

Se tomaron los valores de la viscosidad de cada uno de los tres tipos de crudo a temperaturas de 28°C, 38°C, 48°C, 58°C, 68°C, obteniéndose los siguientes resultados.



**Figura 3.3** Curva de viscosidad versus temperatura de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente.

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

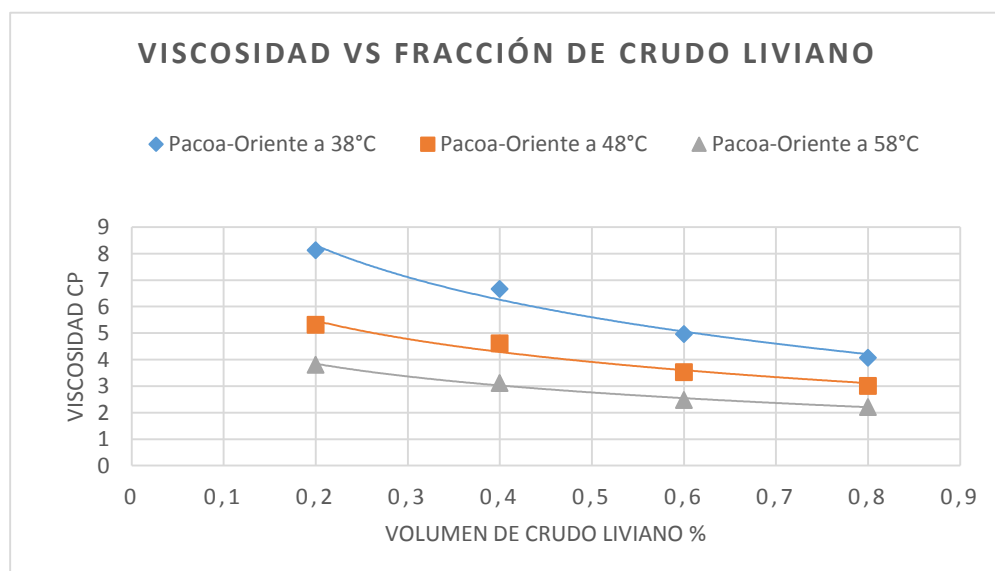
De la figura 3.3 se observa que el incremento de la temperatura provoca una disminución de la viscosidad, reducción que es notablemente mayor en el crudo más pesado. En este caso en el crudo Oriente ocurre la mayor caída de viscosidad de 13.91 cp a una temperatura de 28°C a 2.42 cp a una temperatura de 68°C.

Por otro lado el crudo Ancón y Pacoa también experimentan una caída en sus valores de viscosidades, sin embargo esta disminución es relativamente menor a la del crudo Oriente, ya que mientras más liviano es el crudo, menor es la reducción en la variable viscosidad ante el efecto del aumento de temperatura.

### 3.4.2. Comportamiento de la viscosidad versus la fracción de crudo liviano.

#### 3.4.2.1. Mezclas Pacoa-Oriente

A continuación se muestra el comportamiento de la viscosidad de las mezclas de crudo Pacoa-Oriente a temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C.



**Figura 3.4** Curva de viscosidad versus volumen de crudo liviano.  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

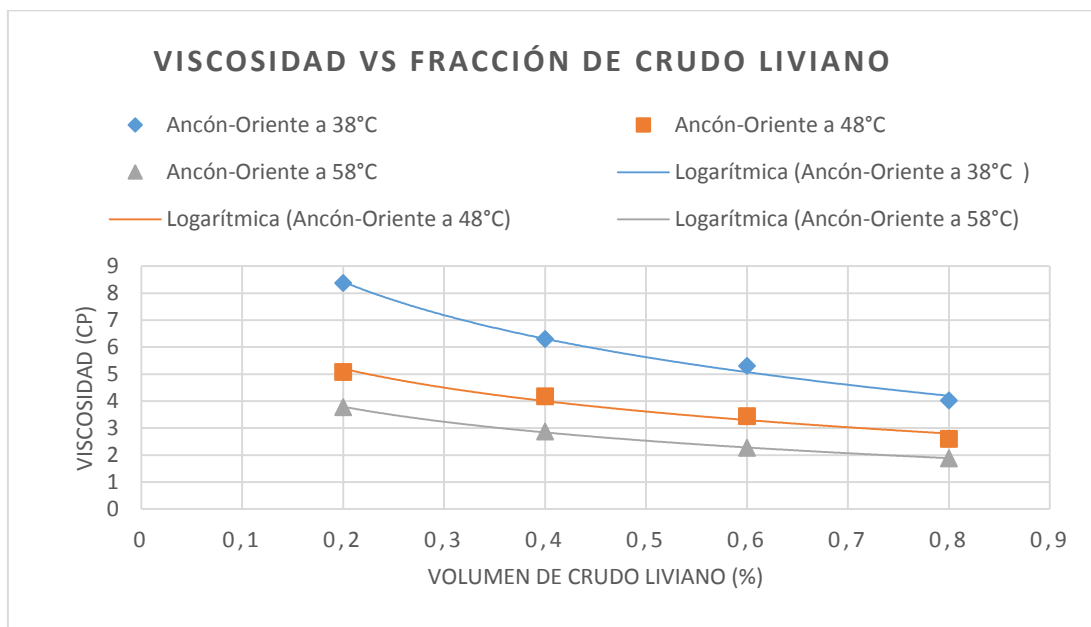


De la Figura 3.4 se observa que el menor valor de viscosidad alcanzado es de 2.21cp para un porcentaje de crudo liviano del 80% a la mayor temperatura de 58°C.

Por lo que se concluye que a medida que se añade un mayor volumen de crudo liviano en la mezcla se obtiene un valor de viscosidad menor, sin embargo esta reducción de la viscosidad será cada vez menor a medida que experimente un incremento de temperatura.

#### **3.4.2.2. Mezclas Ancón-Oriente**

A continuación se muestra el comportamiento de la viscosidad de las mezclas de crudo Ancón-Oriente a temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C.



**Figura 3.5** Curva de viscosidad versus volumen de crudo liviano  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

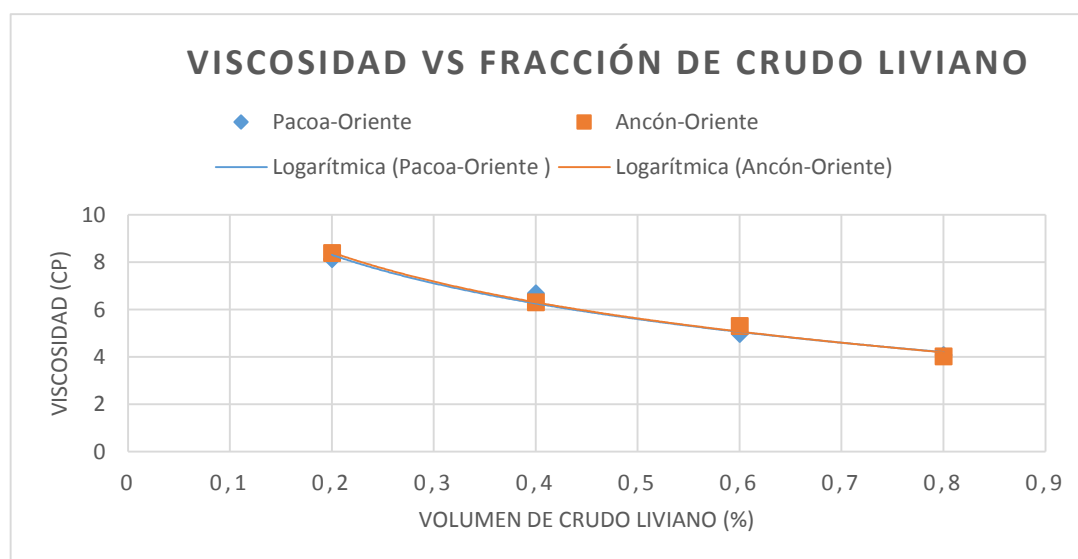
De la Figura 3.5 se observa que el menor valor de viscosidad alcanzado es de 1.88cp para un porcentaje de crudo liviano del 80% a la mayor temperatura de 58°C.

Por lo que se concluye que a medida que se añade un mayor volumen de crudo liviano en la mezcla se obtiene un valor de viscosidad menor, sin embargo esta reducción de la viscosidad será cada vez menor a medida que experimente un incremento de temperatura.

### 3.4.3. Comparación entre mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente

A continuación se presentan las diferencias entre las mezclas realizadas entre el crudo Pacoa con Oriente y Ancón con Oriente a las tres distintas temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C.

- A una temperatura de 38°C se tiene que:



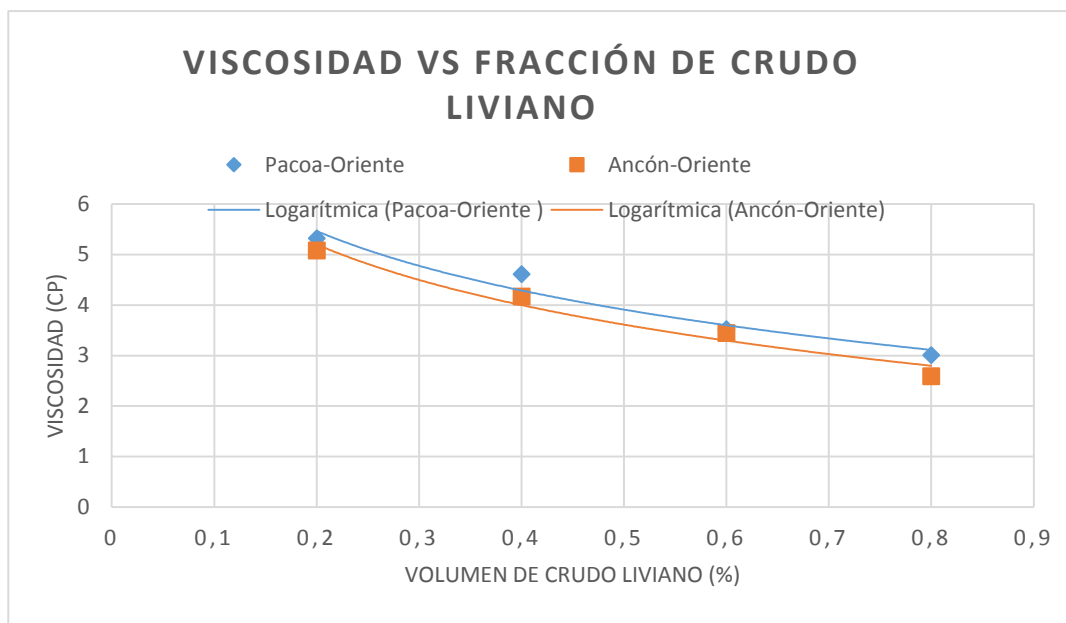
**Figura 3.6** Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 38°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

Como se observa en la figura 3.6 la mezcla entre el crudo Ancón-Oriente alcanza el menor valor de viscosidad de 4.02 cp con un porcentaje de volumen de crudo liviano del 80%, mientras que el menor valor de viscosidad para la mezcla Pacoa-Oriente es

relativamente cercano al mismo porcentaje de volumen de crudo liviano, alcanzando una viscosidad de 4.07 cp.

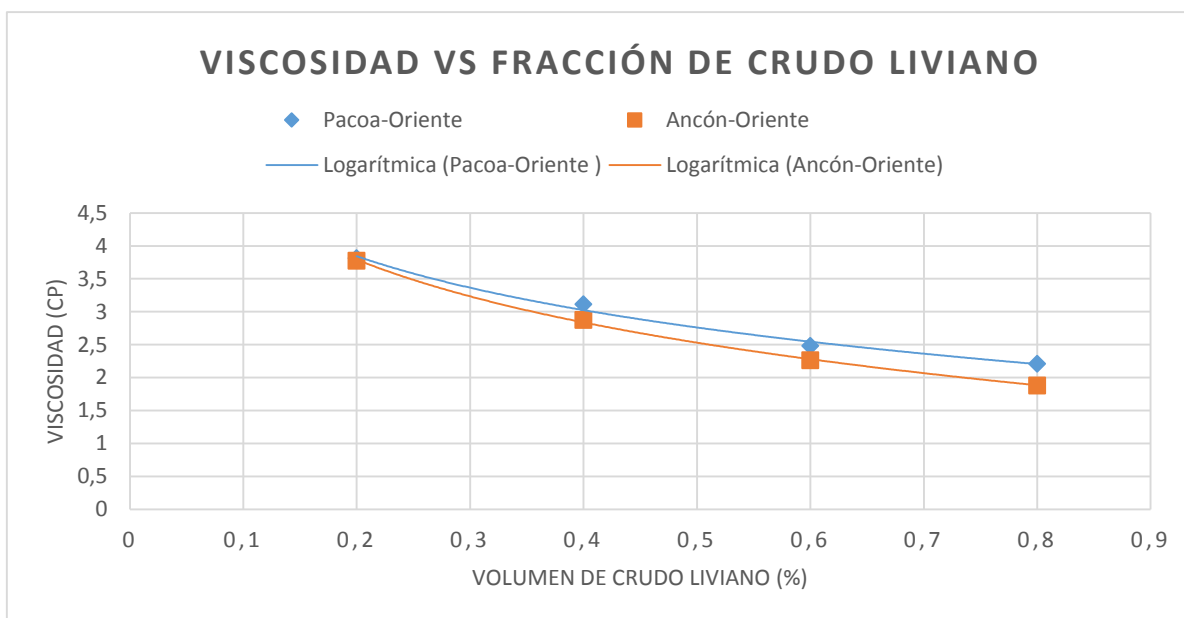
- A la temperatura de 48°C se tiene que:



**Figura 3.7** Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 48°C  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La mezcla entre el crudo Ancón-Oriente alcanza el menor valor de viscosidad de 2.59 cp con un porcentaje de volumen de crudo liviano del 80%, mientras que el menor valor de viscosidad para la mezcla Pacoa-Oriente es relativamente superior en 0.42 cp al mismo porcentaje de volumen de crudo liviano, alcanzando una viscosidad de 3.01 cp

- A una temperatura de 58°C se tiene que:



**Figura 3.8** Curva viscosidad versus volumen de crudo liviano de las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón-Oriente a 58°C  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La mezcla entre el crudo Ancón-Oriente alcanza el menor valor de viscosidad de 1.88 cp con un porcentaje de volumen de crudo liviano del 80%, mientras que el menor valor de viscosidad para la mezcla Pacoa-Oriente es relativamente superior en 0.33 cp al mismo porcentaje de volumen de crudo liviano, alcanzando una viscosidad de 2.21 cp

Al observar las diferentes tendencias que presentan los dos tipos de mezclas a las distintas temperaturas, se tiene que es a la temperatura de 48°C donde ocurre la mayor reducción de la viscosidad conforme incrementa el volumen de crudo liviano, en comparación a las reducciones que ocurren a las otras dos temperaturas de 38°C y 58°C.

#### **3.4.4. Determinación del coeficiente de variación**

De acuerdo al criterio de selección expuesto en el capítulo anterior, se encontró que el Modelo de Arrhenius presenta un alto porcentaje de certidumbre para mezclas binarias de crudos entre crudo pesado y liviano. Por lo tanto para el presente proyecto al trabajar con crudos de estas características, se calculan los valores

teóricos de la viscosidad dinámica con el fin de determinar el coeficiente de variación entre los datos experimentales y teóricos entre las mezclas Pacoa-Oriente y Ancón Oriente a temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C.

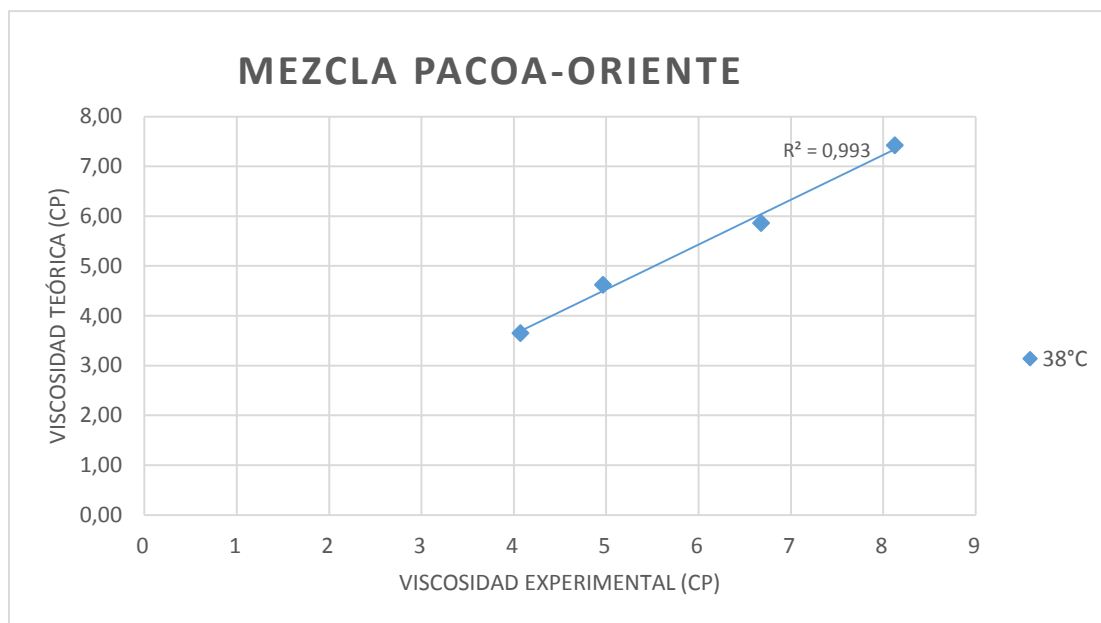
#### 3.4.4.1. Mezclas Pacoa-Oriente

- A temperatura de 38°C se tiene que:

**Tabla XXIII.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 38°C.

<b>% VI</b>	<b>%Vp</b>	<b><math>\mu_{exp}</math> (cp)</b>	<b><math>\mu_{teo}</math>(cp)</b>	<b>% Error</b>
0.2	0.8	8.124	7.43	0.09
0.4	0.6	6.674	5.86	0.14
0.6	0.4	4.964	4.63	0.07
0.8	0.2	4.071	3.65	0.11

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.9** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 38°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La Figura 3.9 indica un coeficiente de variación igual a 0.993 y el % error promedio según la Tabla XXIII, entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales es de 10.25%.

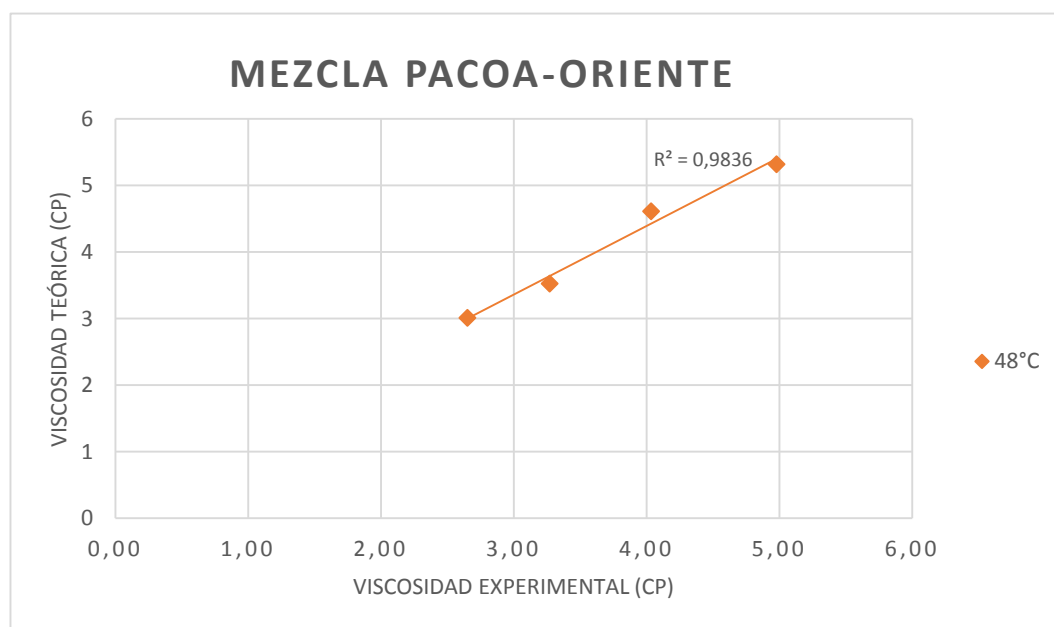


- A la temperatura de 48°C se tiene que:

**Tabla XXIV.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.

% VI	%Vp	$\mu_{exp}$ (cp)	$\mu_{teo}$ (cp)	% Error
0.2	0.8	5.321	4.98	0.07
0.4	0.6	4.612	4.03	0.14
0.6	0.4	3.524	3.27	0.08
0.8	0.2	3.012	2.65	0.14

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.10** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 48°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

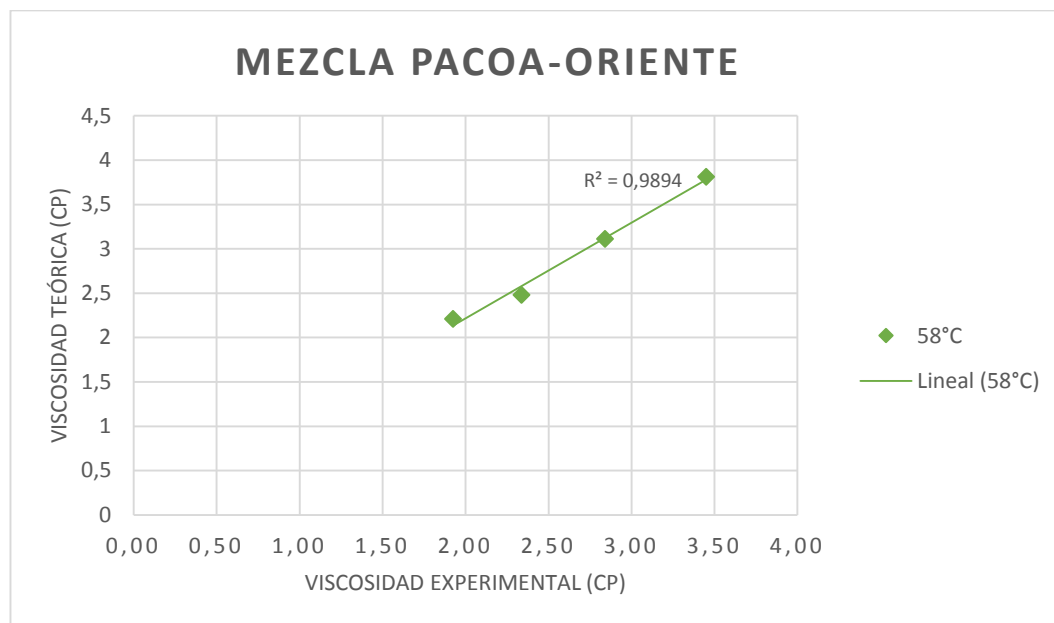
Como se observa en la figura 3.10 el coeficiente de variación es igual a 0.9836 mientras el %error promedio entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales según la tabla XXIV es de 10.75%.

- A la temperatura de 58°C se tiene que:

**Tabla XXV.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.

<b>% VI</b>	<b>%Vp</b>	<b><math>\mu_{exp}</math> (cp)</b>	<b><math>\mu_{teo}</math>(cp)</b>	<b>% Error</b>
0.2	0.8	3.812	3.45	0.11
0.4	0.6	3.114	2.84	0.10
0.6	0.4	2.483	2.34	0.06
0.8	0.2	2.21	1.92	0.15

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.11** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 58°C  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La figura 3.11 indica un coeficiente de variación igual a 0.9894 y el %error promedio según la tabla XXV entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales, es de 10.5%.

Las curvas anteriores reflejan la diferencia entre los valores de viscosidad teóricos obtenidos por el modelo de Arrhenius y los datos experimentales. Se puede determinar que el modelo presenta un gran

ajuste siendo los valores de coeficientes de variación iguales a 0.993, 0.9836 y 0.9894 para las temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C respectivamente, por lo tanto el Modelo de Arrhenius es idóneo para realizar una mezcla entre estos dos tipos de crudo.

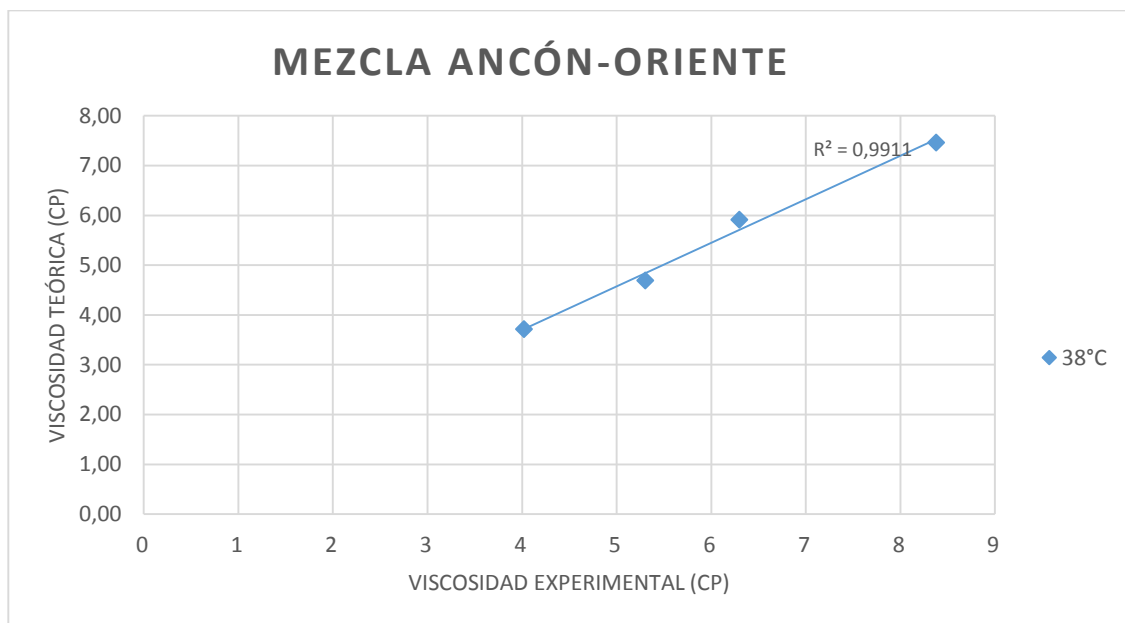
#### 3.4.4.2. Mezclas Ancón-Oriente

- A temperatura de 38°C se tiene que:

**Tabla XXVI.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Ancón-Oriente a 38°C.

<b>% VI</b>	<b>%Vp</b>	<b><math>\mu_{exp}</math> (cp)</b>	<b><math>\mu_{teo}</math>(cp)</b>	<b>% Error</b>
0.2	0.8	8.378	7.46	0.12
0.4	0.6	6.297	5.92	0.06
0.6	0.4	5.302	4.69	0.13
0.8	0.2	4.019	3.72	0.08

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.12** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 38°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

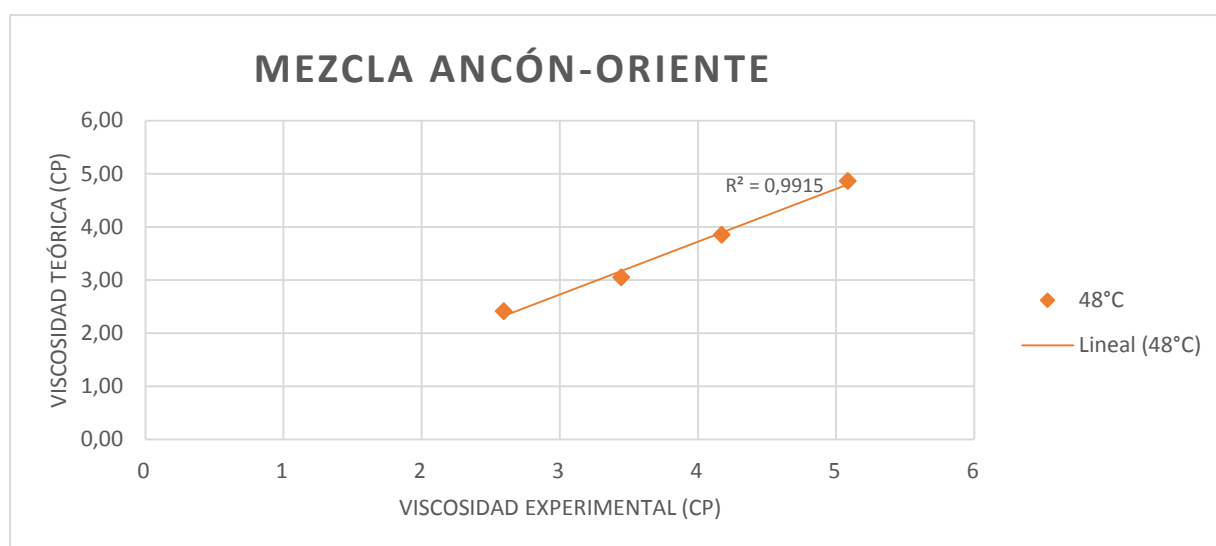
La Figura 3.12 indica un coeficiente de variación igual a 0.9911 y el % error promedio según la Tabla XXVI, entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales es de 9.75%.

- A la temperatura de 48°C se tiene que:

**Tabla XXVII.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 48°C.

% VI	%Vp	$\mu_{exp}$ (cp)	$\mu_{teo}$ (cp)	% Error
0.2	0.8	5.084	4.86	0.05
0.4	0.6	4.173	3.85	0.08
0.6	0.4	3.445	3.05	0.13
0.8	0.2	2.594	2.42	0.07

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.13** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 48°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

Como se observa en la figura 3.13 el coeficiente de variación es igual a 0.9915 mientras el %error

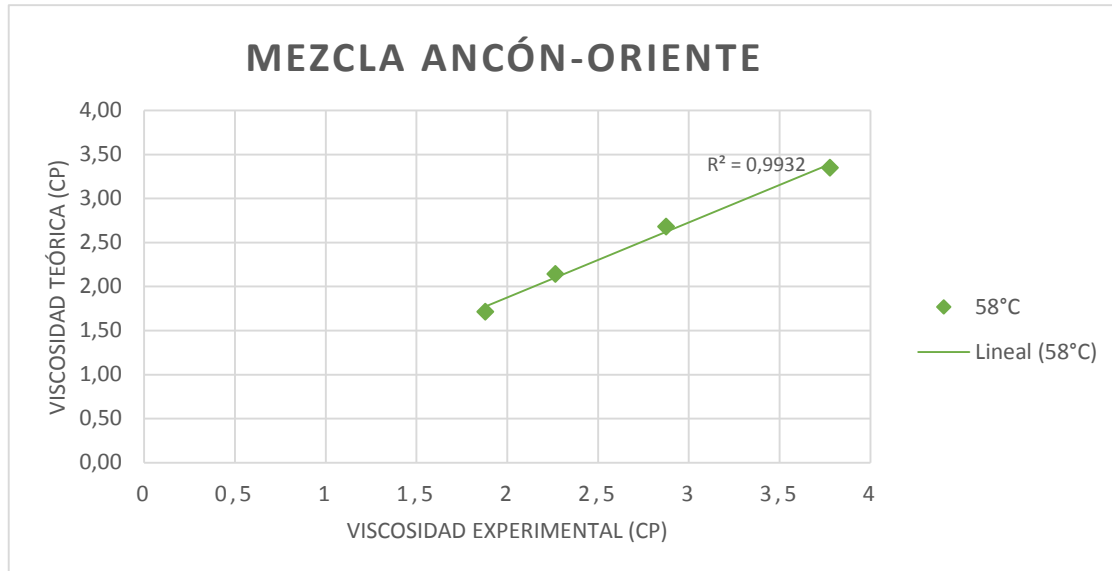
promedio entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales según la tabla XXVII es de 8.25%.

- A la temperatura de 58°C se tiene que:

**Tabla XXVIII.** Porcentaje de error entre viscosidades teóricas y experimentales de las mezclas Pacoa-Oriente a 58°C.

<b>% VI</b>	<b>%Vp</b>	<b><math>\mu_{exp}</math> (cp)</b>	<b><math>\mu_{teo}</math>(cp)</b>	<b>% Error</b>
0.2	0.8	3.776	3.35	0.13
0.4	0.6	2.874	2.68	0.07
0.6	0.4	2.264	2.14	0.06
0.8	0.2	1.878	1.71	0.10

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.14** Curva de ajuste entre valores teóricos y experimentales a 58°C

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La figura 3.14 indica un coeficiente de variación igual a 0.9932 y el %error promedio según la tabla XXVIII entre el modelo de Arrhenius y los datos experimentales, es de 9%.

Las curvas anteriores reflejan la diferencia entre los valores de viscosidad teóricos obtenidos por el modelo de Arrhenius y los datos experimentales. Se puede determinar que el modelo presenta un gran ajuste siendo los valores de coeficientes de variación iguales a 0.9911, 0.9915 y 0.9932 para las



temperaturas de 38°C, 48°C y 58°C respectivamente, por lo tanto el Modelo de Arrhenius es idóneo para realizar una mezcla entre estos dos tipos de crudo.

### 3.4.5. Comparación de Gravedad API

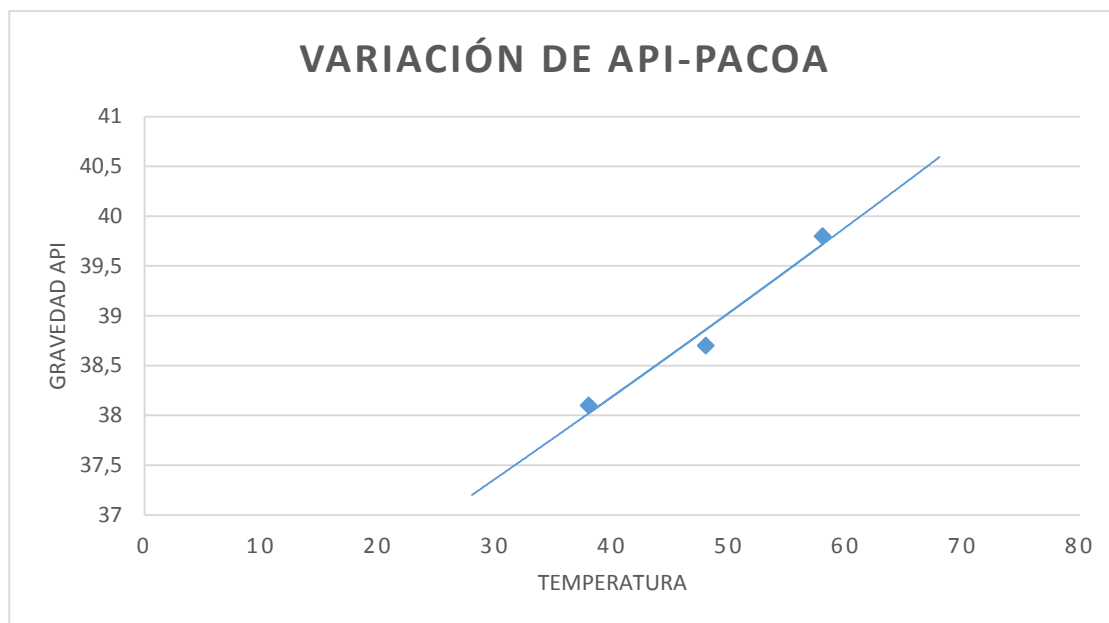
#### 3.4.5.1. Gravedad API de crudos

Se determinó la gravedad API de los crudos Pacoa, Ancón y Oriente a diferentes temperaturas. A continuación, en las tablas XXIX, XXX y XXXI se detallan los resultados obtenidos.

**Tabla XXIX.** Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Pacoa.

<b>T (°C)</b>	<b>API</b>
38	38.1
48	38.7
58	39.8
68	40.6

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



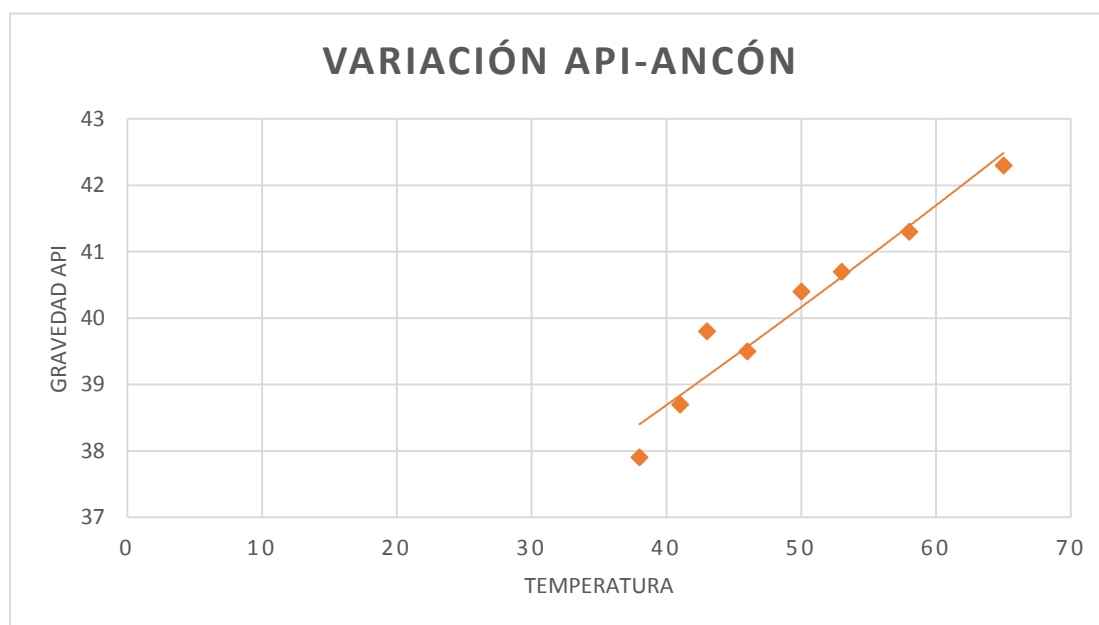
**Figura 3.15** Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Pacoa  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

La figura 3.15 nos indica una variación de gravedad API mínima a medida que la temperatura incrementa, se alcanza un valor máximo de 40.6 API a la temperatura de 68°C, es decir la gravedad API varía en 2.5°API.

**Tabla XXX.** Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Ancón.

T (°C)	API
38	37.9
41	38.7
43	39.8
46	39.5
50	40.4
53	40.7
58	41.3
65	42.3

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.16** Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Ancón

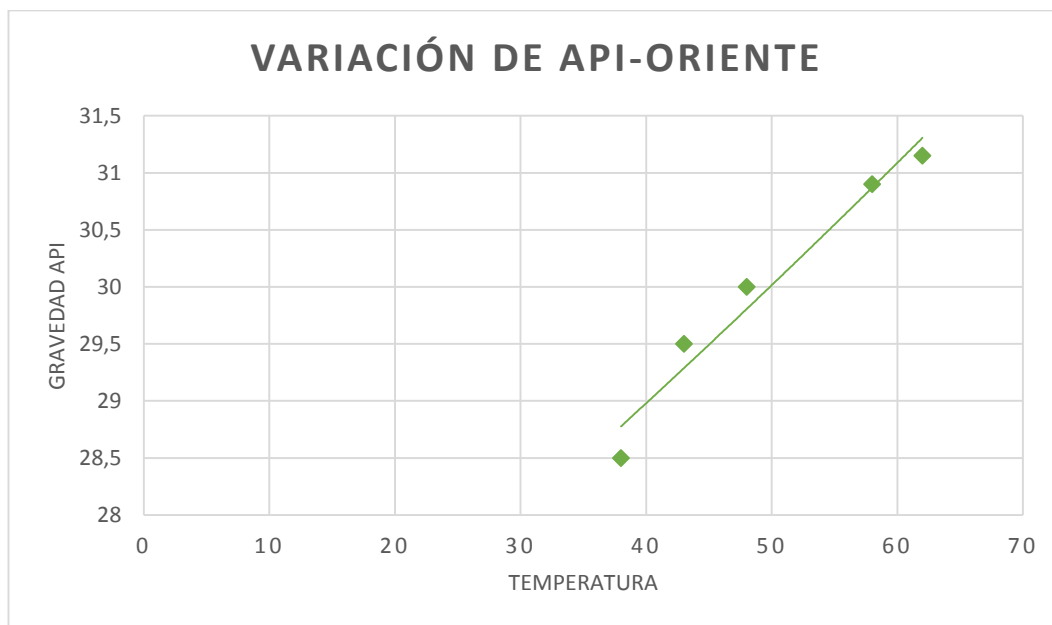
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

En el caso del crudo Ancón se observa en la figura 3.16 que el cambio de la gravedad API es significativo con el incremento de la temperatura, desde un valor mínimo de 37.9 API a 38°C se alcanza un valor máximo de 42.3 API a 65°C, es decir se obtiene una variación de 4.4 °API.

**Tabla XXXI.** Gravedad API a diferentes temperaturas del crudo Oriente.

<b>T (°C)</b>	<b>API</b>
38	28.5
43	29.5
48	30
58	30.9
68	31.95

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.17** Curva de gravedad API vs temperatura del crudo Oriente  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

Como se observa en la figura 3.17 la variación de la gravedad API del crudo Oriente es relativamente mayor a la del crudo Pacoa, desde un valor mínimo de 28.5 °API a 38°C se alcanza un valor máximo de 31.95 API a 68°C con lo cual se obtiene una variación de 3.45 °API.

### 3.4.5.2. Gravedad API de mezclas Pacoa-Oriente

Se obtuvieron algunas medidas de gravedad API a distintas temperaturas para las mezclas Pacoa-Oriente las cuales se presentan en las tablas XXXII, XXXIII, XXXIV y XXXV.

**Tabla XXXII.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 20% de crudo liviano

Fracción	PACOA-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:20%	38	29.6
	48	31.4
	58	32.4
Vp=80%		

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXIII.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 40% de crudo liviano

Fracción	PACOA-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:40%	38	33.5
	48	34.4
Vp=60%	58	35.3

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXIV.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 60% de crudo liviano

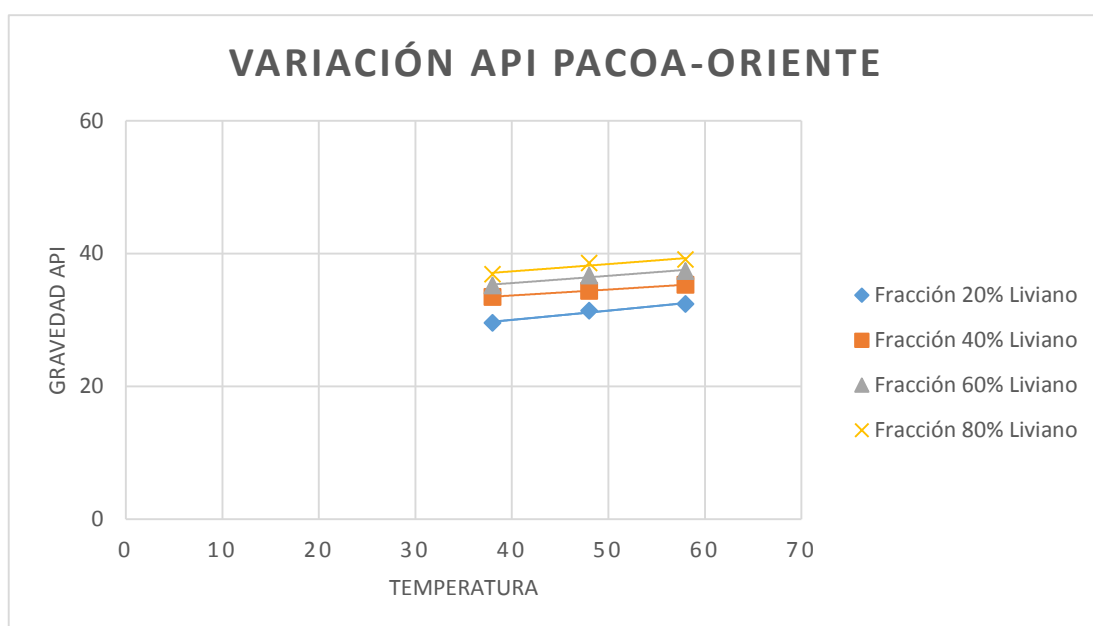
Fracción	PACOA-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:60%	38	35.2
	48	36.7
Vp=40%	58	37.4

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXV.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 80% de crudo liviano.

Fracción	PACOA-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:80%	38	36.9
	48	38.6
Vp=20%	58	39.1

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.18** Curva de gravedad API versus temperatura de las mezclas Pacoa-Oriente

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



En la figura 3.18 se observa que existe mayor incremento de la gravedad API a medida que la temperatura y la fracción de crudo liviano aumentan, por tanto la máxima gravedad API se alcanzó para la mezcla con 80% de crudo liviano a una temperatura de 58°C obteniéndose un valor de 39.1 API.

#### **3.4.5.3. Gravedad API de mezclas Ancón-Oriente**

La gravedad API de cada mezcla Ancón-Oriente se midió a distintas temperaturas y los resultados se detallan a continuación en las tablas XXXVI. XXXVII, XXXVIII y XXXIX.

**Tabla XXXVI.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 20% de crudo liviano

Fracción	ANCÓN-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:20%	38	31.4
	48	31.8
	51	32.1
Vp=80%	54	33
	58	33.6

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXVII.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 40% de crudo liviano

Fracción	ANCÓN-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:40%	38	33.5
	48	33.9
	51	34.2
Vp:60%	54	34.5
	58	35.5

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXVIII.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 60% de crudo liviano

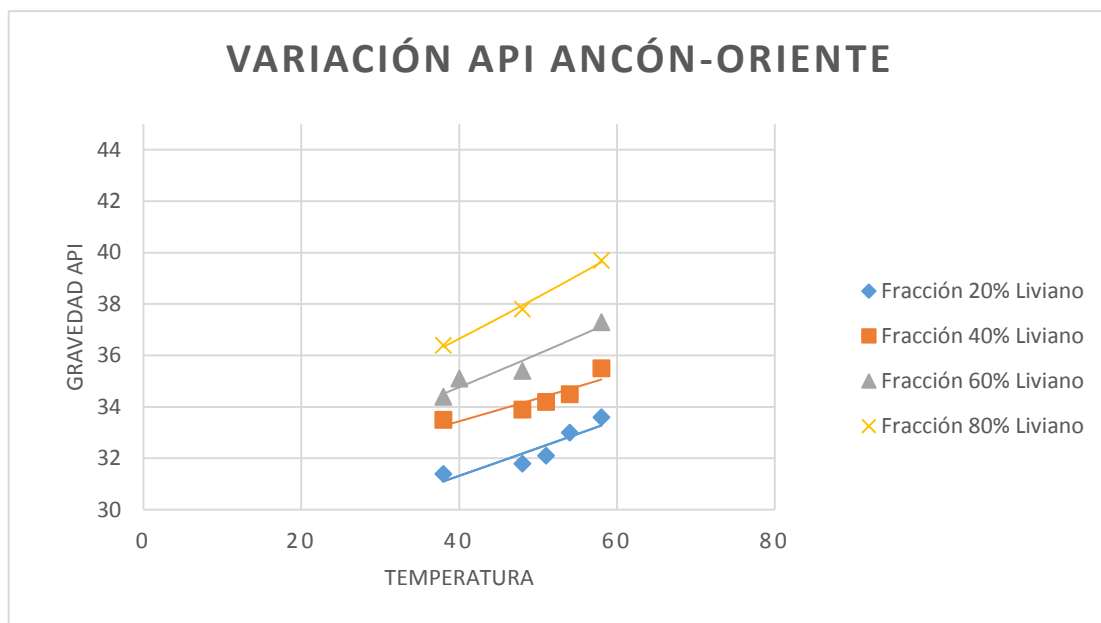
Fracción	ANCÓN-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:60%	38	34.4
	40	35.1
Vp:40%	48	35.4
	58	37.3

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

**Tabla XXXIX.** Gravedad API a distintas temperaturas para una mezcla con 80% de crudo liviano

Fracción	PACOA-ORIENTE	
	T (°C)	API
VI:80%	38	36.4
	48	37.8
Vp=20%	58	39.7

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



**Figura 3.19** Curva de gravedad API versus temperatura de las mezclas Ancón-Oriente

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

En la figura 3.19 se observa que existe mayor incremento de la gravedad API a medida que la temperatura y la fracción de crudo liviano aumentan, por tanto la máxima gravedad API se alcanzó para la mezcla con 80% de crudo liviano a una temperatura de 58°C obteniéndose un valor de 39.7 API.

# **CAPÍTULO 4**

## **ALGORITMO COMPUTACIONAL**

#### 4.1. Descripción del Algoritmo

Se encuentra planteado por medio de ingresos de valores experimentales de gravedades API para los diferentes tipos de crudo a mezclarse a distintos rangos de temperatura.

Posteriormente las viscosidades de los crudos muertos al mezclarse  $\mu_p$ ,  $\mu_L$  serán determinadas en función del grado °API y Temperatura de Operación ( $T_o$ ) mediante la correlación de Glaso (1980) [1], para crudo pesado y crudo liviano respectivamente, considerando que sólo puede ser usada en un sistema de temperatura de rango entre 50 – 300 °F y de 20.1 – 48.1 °API.

Por lo tanto, se calcula de la viscosidad del petróleo pesado por medio de la siguiente ecuación:

$$\mu_p = [ 3.141(10)^{10}](T_o - 460)^{-3.444}[\log(^{\circ}\text{API}_p)]^a \quad \text{ec.12}$$

Para el cálculo de la viscosidad del petróleo liviano se tiene :

$$\mu_L = [ 3.141(10)^{10}](T_o - 460)^{-3.444}[\log(^{\circ}\text{API}_L)]^a \quad \text{ec.13}$$

Donde  $a = 10.313[\log(T_o - 460)] - 36.447$

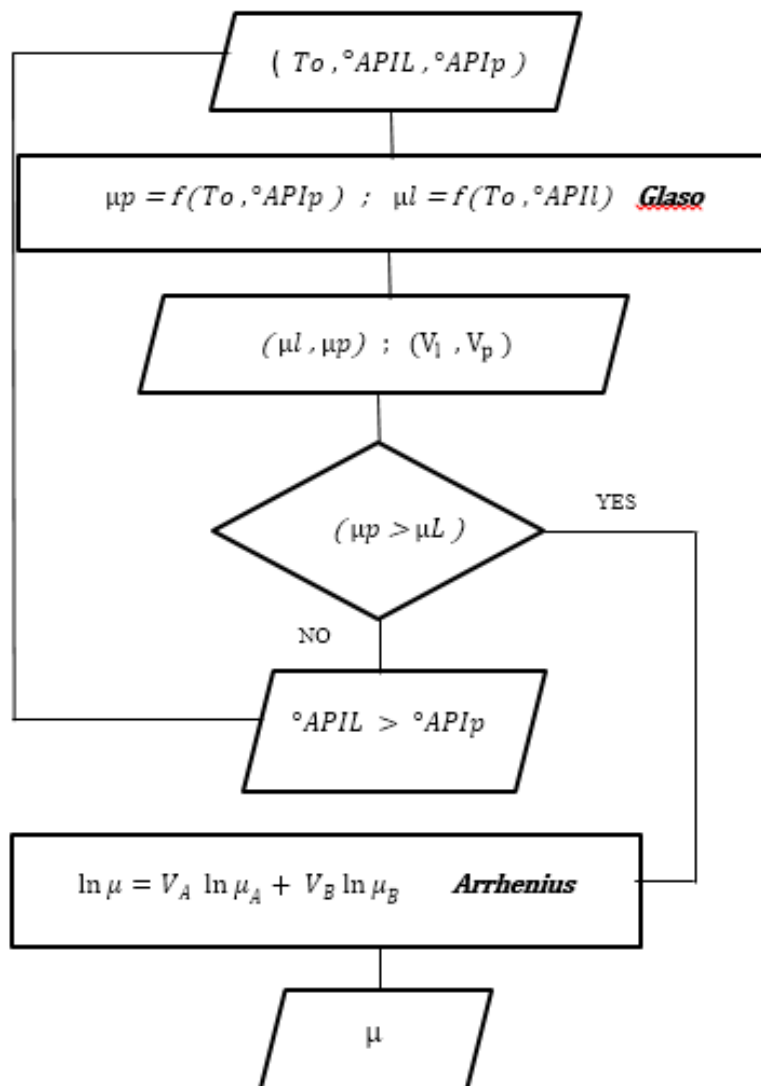
Una vez establecidos los parámetros de entrada en el sistema de proceso, corresponde analizar lo que sucede en la salida para esto se ha seleccionado previamente el método de Arrhenius (ec.6) para determinar la viscosidad del petróleo crudo mezclado ( $\mu$ ).

$$\ln \mu = V_A \ln \mu_A + V_B \ln \mu_B \quad \text{ec.6.}$$

De donde se despeja la variable de viscosidad, teniendo finalmente la siguiente expresión (ec.12) a partir de la cual se obtendrán todos los valores de viscosidad de las mezclas:

$$\mu = e^{(V_A \ln \mu_A + V_B \ln \mu_B)} \quad \text{ec.13}$$

#### 4.1.1. Estructura Del Algoritmo



**Figura 4.1** Estructura Del Algoritmo  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.



## **4.2. Objetivo del Algoritmo**

El lenguaje de programación utilizado para ejecutar el algoritmo fue MatLab Rb2012b .

El algoritmo tiene como objeto encontrar las diferentes viscosidades de una mezcla binaria de crudo para un número indefinido de proporciones de volúmenes de crudo liviano y temperaturas, para poder predecir el comportamiento de cada combinación sometidas a las diferentes temperaturas proporcionadas por el usuario.

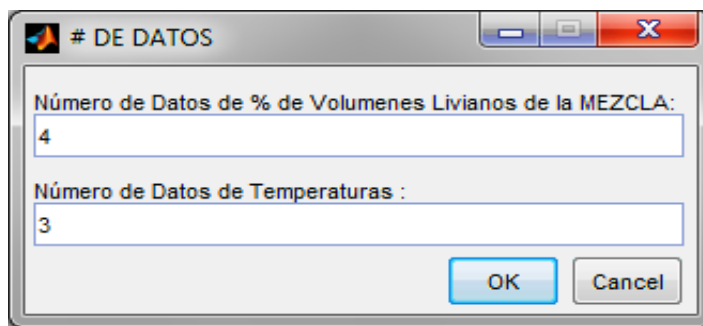
## **4.3. Ejecución del Programa**

### **4.3.1. Inicio**

Ejecutar en la pantalla principal de MatLab el nombre del programa denominado Arrhenius.

Los primeros datos que se solicitarán serán el número de combinaciones de mezclas a realizarse por medio de las distintas variaciones de porcentaje de crudo liviano, además se requiere

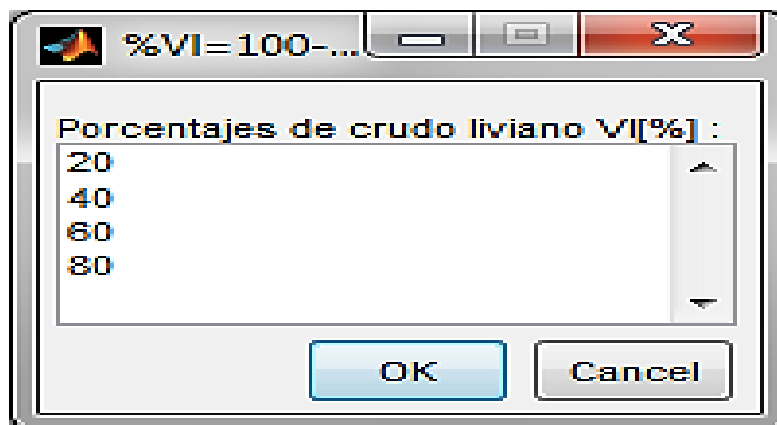
ingresar el número de temperaturas a las que estarán sujetas las mezclas.



**Figura 4.2** Datos de entrada del programa

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

Por otro lado el programa solicitará ingresar los diferentes porcentajes de volúmenes livianos, los cuales representan las distintas combinaciones de mezclas que se obtendrían, con la premisa que el porcentaje total de la mezcla se suponga del 100%.



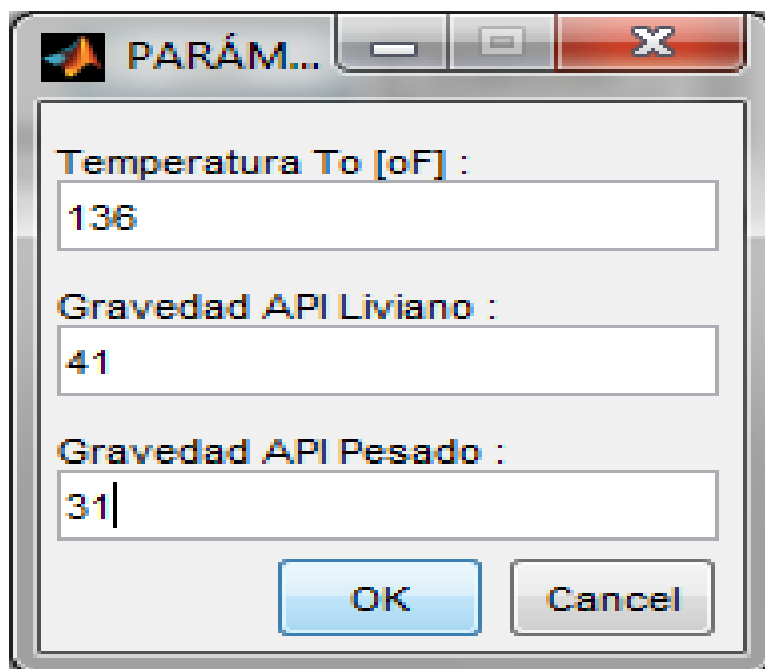
**Figura 4.3** Porcentaje de Volúmenes Liviano

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

#### **4.3.2. Parámetros**

A continuación se deben ingresar los parámetros de temperatura y gravedad Api del crudo liviano y pesado, considerando el rango de valores aceptados por la correlación de Glaso, los cuales determinan que los valores de temperatura deben estar entre [50-300°F], mientras que los datos de gravedades API deben estar comprendidos entre [20.1 - 48°API].

Los valores de Gravedad API van a ser diferentes y mayores conforme el incremento de temperatura, por lo cual se tendrán que ingresar los datos de gravedades API para el crudo liviano y pesado respectivamente con respecto a cada valor de temperatura deseado.



A screenshot of a software dialog box titled "PARÁM...". The dialog box has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The main content area contains three input fields, each with a label above it:

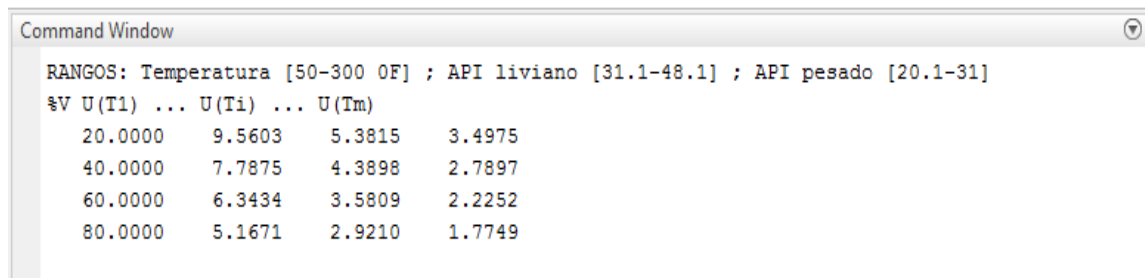
- The first field is labeled "Temperatura To [oF] :" and contains the value "136".
- The second field is labeled "Gravedad API Liviano :" and contains the value "41".
- The third field is labeled "Gravedad API Pesado :" and contains the value "31".

At the bottom of the dialog box, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

**Figura 4.4** Porcentaje de Volúmenes Liviano  
**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

### **4.3.3. Tabla de Resultados**

Los valores deseados de las viscosidades de las distintas mezclas efectuadas por las distintas proporciones de volúmenes livianos a varias temperaturas, muestran una tabla de resultados en la pantalla de trabajo de Matlab. En esta matriz de resultados se tiene que la primera columna representa las proporciones de porcentaje del crudo liviano, en la segunda columna se presentan los resultados de la viscosidad de la mezcla realizados para el primer valor de temperatura a la correspondiente combinación de porcentaje de volumen liviano, la tercera columna los resultados para el segundo valor de temperatura y así sucesivamente para el número de datos de temperatura que haya seleccionado el usuario en los datos de entrada.



```

Command Window
RANGOS: Temperatura [50-300 0F] ; API liviano [31.1-48.1] ; API pesado [20.1-31]
%V U(T1) ... U(Ti) ... U(Tm)
20.0000    9.5603    5.3815    3.4975
40.0000    7.7875    4.3898    2.7897
60.0000    6.3434    3.5809    2.2252
80.0000    5.1671    2.9210    1.7749

```

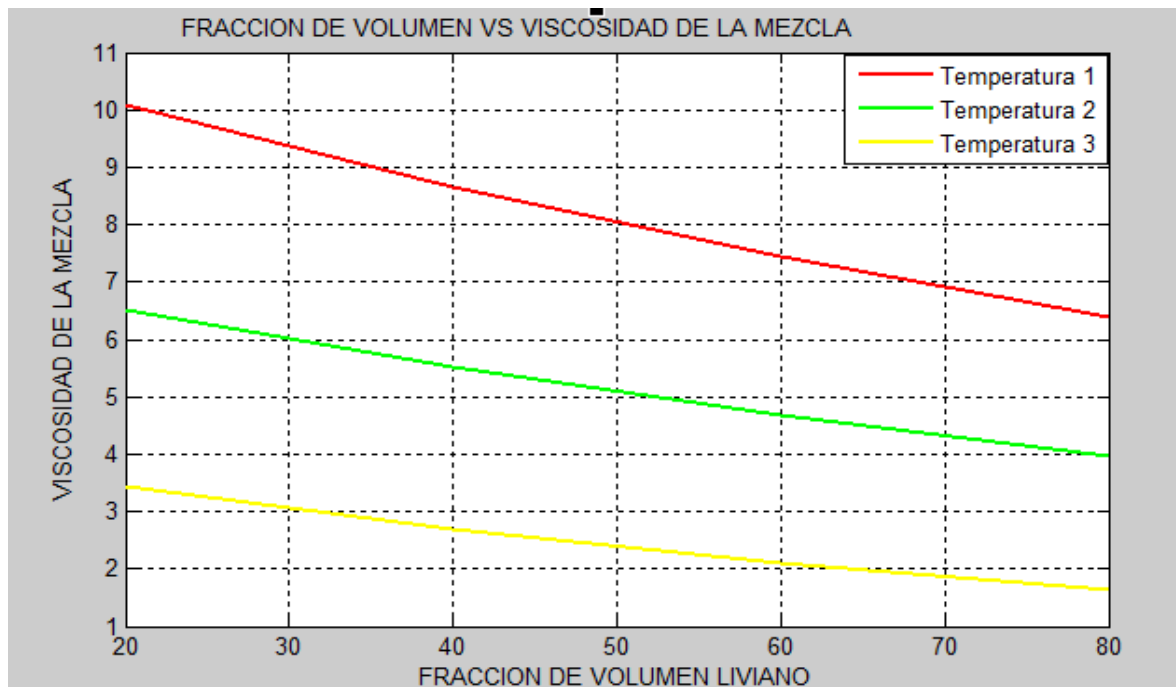
**Figura 4.5** Matriz de Resultados de Viscosidades de mezclas para m Temperaturas

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

#### 4.3.4. Gráfica de Resultados

Para finalizar el programa muestra la gráfica de porcentajes de volúmenes livianos vs viscosidades de la mezcla para cada una de las temperaturas ingresadas como parámetros al inicio de la ejecución del programa.

Por medio de la cual se puede predecir el comportamiento de la viscosidad para las distintas mezclas binarias efectuadas, estableciendo comparaciones entre ellas, determinando la mejor combinación y temperatura en la cual ocurrirá la mayor reducción de viscosidad



**.Figura 4.6** Gráfica de Porcentajes de Volumen Liviano vs Viscosidad de la Mezcla a diferentes temperaturas

**Fuente:** Andrade, J., González. C., 2017.

# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## CONCLUSIONES

El modelo matemático seleccionado para predecir el comportamiento de una mezcla binaria de crudo fue el de Arrhenius, ya que presentó el mejor ajuste para trabajar con altas relaciones de viscosidad, es decir que puede calcular exitosamente la viscosidad de una mezcla de un crudo de baja gravedad API con una de alta gravedad API.

De los tres tipos de crudos utilizados (Oriente, Pacoa, Ancón) para elaborar las distintas proporciones de mezclas se tiene que es el crudo Oriente el que presenta mayor reducción de viscosidad conforme incrementa su temperatura, determinando una relación inversa entre la gravedad API y la disminución de la viscosidad.

Por medio de pruebas de laboratorio efectuadas se determina que la mezcla entre los crudos Ancón-Oriente presenta mayores reducciones de viscosidad de las mezclas respecto a la combinaciones Pacoa-Oriente, alcanzando el menor valor de viscosidad igual a 1.88 cp, a una proporción de 80% crudo Ancón, 20% crudo Oriente a la temperatura más elevada de 58°F.

Los datos experimentales señalan que los menores valores de viscosidad alcanzados en ambas mezclas ocurren con el mayor porcentaje de volumen liviano (80%) a la mayor temperatura( 58°F), sin embargo se tiene que los mayores declives de viscosidad ocurren cuando se calienta la mezcla a la temperatura más baja (38°F), fijando de esta manera a este valor que para la mezcla Pacoa-Oriente la mayor disminución que experimentó fue de 4.05cp mientras que para la mezcla Ancón-Oriente redujo aproximadamente 4.35 cp.

El porcentaje de error entre los datos teóricos de viscosidad de las mezclas calculados mediante el modelo matemático de Arrhenius y los datos de viscosidad experimentales obtenidos en laboratorio mediante el viscosímetro de Saybolt se establece que existe un error aproximado del 9.63%.

Se estableció un algoritmo computacional en el lenguaje de programación de MatLab R2012b mediante el cual se obtienen los valores de viscosidad de las mezclas y una gráfica que simula el comportamiento de

la variación de viscosidad por las distintas combinaciones de volúmenes entre crudo liviano y pesado a las temperaturas fijadas por el usuario.

## RECOMENDACIONES

Para un mejor análisis del comportamiento de la variación de viscosidad de las mezclas es importante trabajar con la mayor cantidad de crudos posibles, de diferente gravedad API para resaltar la diferencia en como participa este parámetro en las reducciones de las viscosidades de las mezclas a diversas temperaturas.

En la toma de medidas de viscosidades experimentales mediante el viscosímetro de Saybolt se requieren que las copas sean rebosadas una mínima cantidad de uno a dos ml para compensar la cantidad de volumen perdido de la mezcla por la respectiva incertidumbre presentada por el equipo.

Al calentar las mezclas de crudos, tener precaución que las medidas de la gravedad API de la mezcla estén tomadas a la temperatura correcta, puesto que el calor se disipa rápidamente y se podrían tomar lecturas incorrectas ya que el API del crudo cambia conforme varía la temperatura.

En el manejo de la aplicación computacional, tener en cuenta que los valores ingresados de temperatura y gravedad API por el usuario deben cumplir con los rangos establecidos por las correlaciones empleadas en el algoritmo computacional

# **ANEXOS**

# ANEXO A

## TABLAS DE CONVERSIÓN DE VISCOSIDAD SAYBOLT A VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Instituto Nacional de Vías

**Tabla 1.** Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
			2.25	33.5	33.7	2.75	35.1	35.4	3.25	36.8	37.0
			2.26	33.5	33.7	2.76	35.2	35.4	3.26	36.8	37.0
1.77	...	32.0	2.27	33.5	33.7	2.77	35.2	35.4	3.27	36.8	37.1
1.78	...	32.1	2.28	33.6	33.8	2.78	35.2	35.5	3.28	36.9	37.1
1.79	...	32.1	2.29	33.6	33.8	2.79	35.3	35.5	3.29	36.9	37.1
1.80	...	32.1	2.30	33.6	33.8	2.80	35.3	35.5	3.30	36.9	37.2
1.81	32.0	32.2	2.31	33.7	33.9	2.81	35.3	35.6	3.31	37.0	37.2
1.82	32.0	32.2	2.32	33.7	33.9	2.82	35.4	35.6	3.32	37.0	37.2
1.83	32.0	32.2	2.33	33.7	33.9	2.83	35.4	35.6	3.33	37.0	37.3
1.84	32.1	32.3	2.34	33.8	34.0	2.84	35.4	35.7	3.34	37.1	37.3
1.85	32.1	32.3	2.35	33.8	34.0	2.85	35.5	35.7	3.35	37.1	37.3
1.86	32.1	32.3	2.36	33.8	34.0	2.86	35.5	35.7	3.36	37.1	37.4
1.87	32.2	32.4	2.37	33.9	34.1	2.87	35.5	35.8	3.37	37.2	37.4
1.88	32.2	32.4	2.38	33.9	34.1	2.88	35.6	35.8	3.38	37.2	37.4
1.89	32.2	32.4	2.39	33.9	34.2	2.89	35.6	35.8	3.39	37.2	37.5
1.90	32.3	32.5	2.40	34.0	34.2	2.90	35.6	35.9	3.40	37.3	37.5
1.91	32.3	32.5	2.41	34.0	34.2	2.91	35.7	35.9	3.41	37.3	37.5
1.92	32.3	32.5	2.42	34.0	34.3	2.92	35.7	35.9	3.42	37.3	37.6
1.93	32.4	32.6	2.43	34.1	34.3	2.93	35.7	36.0	3.43	37.4	37.6
1.94	32.4	32.6	2.44	34.1	34.3	2.94	35.8	36.0	3.44	37.4	37.6
1.95	32.4	32.6	2.45	34.1	34.4	2.95	35.8	36.0	3.45	37.4	37.7
1.96	32.5	32.7	2.46	34.2	34.4	2.96	35.8	36.1	3.46	37.5	37.7
1.97	32.5	32.7	2.47	34.2	34.4	2.97	35.9	36.1	3.47	37.5	37.7
1.98	32.5	32.8	2.48	34.2	34.5	2.98	35.9	36.1	3.48	37.5	37.8
1.99	32.6	32.8	2.49	34.3	34.5	2.99	35.9	36.2	3.49	37.6	37.8
2.00	32.6	32.8	2.50	34.3	34.5	3.00	36.0	36.2	3.50	37.6	37.8
2.01	32.6	32.9	2.51	34.3	34.6	3.01	36.0	36.2	3.51	37.6	37.9
2.02	32.7	32.9	2.52	34.4	34.6	3.02	36.0	36.3	3.52	37.6	37.9
2.03	32.7	32.9	2.53	34.4	34.6	3.03	36.0	36.3	3.53	37.7	37.9
2.04	32.7	33.0	2.54	34.4	34.7	3.04	36.1	36.3	3.54	37.7	38.0
2.05	32.8	33.0	2.55	34.5	34.7	3.05	36.1	36.4	3.55	37.7	38.0
2.06	32.8	33.0	2.56	34.5	34.7	3.06	36.1	36.4	3.56	37.8	38.0
2.07	32.8	33.1	2.57	34.5	34.8	3.07	36.2	36.4	3.57	37.8	38.1
2.08	32.9	33.1	2.58	34.6	34.8	3.08	36.2	36.5	3.58	37.8	38.1
2.09	32.9	33.1	2.59	34.6	34.8	3.09	36.2	36.5	3.59	37.9	38.1
2.10	32.9	33.2	2.60	34.6	34.9	3.10	36.3	36.5	3.60	37.9	38.2
2.11	33.0	33.2	2.61	34.7	34.9	3.11	36.3	36.6	3.61	37.9	38.2
2.12	33.0	33.2	2.62	34.7	34.9	3.12	36.3	36.6	3.62	38.0	38.2
2.13	33.0	33.3	2.63	34.7	35.0	3.13	36.4	36.6	3.63	38.0	38.3
2.14	33.1	33.3	2.64	34.8	35.0	3.14	36.4	36.7	3.64	38.0	38.3
2.15	33.1	33.3	2.65	34.8	35.0	3.15	36.4	36.7	3.65	38.1	38.3
2.16	33.1	33.4	2.66	34.8	35.1	3.16	36.5	36.7	3.66	38.1	38.4
2.17	33.2	33.4	2.67	34.9	35.1	3.17	36.5	36.8	3.67	38.1	38.4
2.18	33.2	33.4	2.68	34.9	35.1	3.18	36.5	36.8	3.68	38.2	38.4
2.19	33.2	33.5	2.69	34.9	35.2	3.19	36.6	36.8	3.69	38.2	38.5
2.20	33.3	33.5	2.70	35.0	35.2	3.20	36.6	36.9	3.70	38.2	38.5
2.21	33.3	33.5	2.71	35.0	35.2	3.21	36.6	36.9	3.71	38.3	38.5
2.22	33.3	33.6	2.72	35.0	35.3	3.22	36.7	36.9	3.72	38.3	38.6
2.23	33.4	33.6	2.73	35.1	35.3	3.23	36.7	37.0	3.73	38.3	38.6
2.24	33.4	33.6	2.74	35.1	35.3	3.24	36.7	37.0	3.74	38.4	38.6

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
3.75	38.4	38.7	4.25	40.0	40.3	4.75	41.6	41.9	5.25	43.2	43.5
3.76	38.4	38.7	4.26	40.0	40.3	4.76	41.6	41.9	5.26	43.2	43.5
3.77	38.5	38.7	4.27	40.1	40.3	4.77	41.7	41.9	5.27	43.3	43.5
3.78	38.5	38.7	4.28	40.1	40.4	4.78	41.7	42.0	5.28	43.3	43.6
3.79	38.5	38.8	4.29	40.1	40.4	4.79	41.7	42.0	5.29	43.3	43.6
3.80	38.6	38.8	4.30	40.2	40.4	4.80	41.8	42.0	5.30	43.3	43.6
3.81	38.6	38.8	4.31	40.2	40.5	4.81	41.8	42.1	5.31	43.4	43.7
3.82	38.6	38.9	4.32	40.2	40.5	4.82	41.8	42.1	5.32	43.4	43.7
3.83	38.7	38.9	4.33	40.3	40.5	4.83	41.9	42.1	5.33	43.4	43.7
3.84	38.7	38.9	4.34	40.3	40.6	4.84	41.9	42.2	5.34	43.5	43.8
3.85	38.7	39.0	4.35	40.3	40.6	4.85	41.9	42.2	5.35	43.5	43.8
3.86	38.7	39.0	4.36	40.4	40.6	4.86	41.9	42.2	5.36	43.5	43.8
3.87	38.8	39.0	4.37	40.4	40.7	4.87	42.0	42.3	5.37	43.6	43.9
3.88	38.8	39.1	4.38	40.4	40.7	4.88	42.0	42.3	5.38	43.6	43.9
3.89	38.8	39.1	4.39	40.4	40.7	4.89	42.0	42.3	5.39	43.6	43.9
3.90	38.9	39.1	4.40	40.5	40.8	4.90	42.1	42.4	5.40	43.7	44.0
3.91	38.9	39.2	4.41	40.5	40.8	4.91	42.1	42.4	5.41	43.7	44.0
3.92	38.9	39.2	4.42	40.5	40.8	4.92	42.1	42.4	5.42	43.7	44.0
3.93	39.0	39.2	4.43	40.6	40.8	4.93	42.2	42.5	5.43	43.8	44.1
3.94	39.0	39.3	4.44	40.6	40.9	4.94	42.2	42.5	5.44	43.8	44.1
3.95	39.0	39.3	4.45	40.6	40.9	4.95	42.2	42.5	5.45	43.8	44.1
3.96	39.1	39.3	4.46	40.7	40.9	4.96	42.3	42.5	5.46	43.9	44.2
3.97	39.1	39.4	4.47	40.7	41.0	4.97	42.3	42.6	5.47	43.9	44.2
3.98	39.1	39.4	4.48	40.7	41.0	4.98	42.3	42.6	5.48	43.9	44.2
3.99	39.2	39.4	4.49	40.8	41.0	4.99	42.4	42.6	5.49	44.0	44.2
4.00	39.2	39.5	4.50	40.8	41.1	5.00	42.4	42.7	5.50	44.0	44.3
4.01	39.2	39.5	4.51	40.8	41.1	5.01	42.4	42.7	5.51	44.0	44.3
4.02	39.3	39.5	4.52	40.9	41.1	5.02	42.5	42.7	5.52	44.0	44.3
4.03	39.3	39.6	4.53	40.9	41.2	5.03	42.5	42.8	5.53	44.1	44.4
4.04	39.3	39.6	4.54	40.9	41.2	5.04	42.5	42.8	5.54	44.1	44.4
4.05	39.4	39.6	4.55	41.0	41.2	5.05	42.6	42.8	5.55	44.1	44.4
4.06	39.4	39.7	4.56	41.0	41.3	5.06	42.6	42.9	5.56	44.2	44.5
4.07	39.4	39.7	4.57	41.0	41.3	5.07	42.6	42.9	5.57	44.2	44.5
4.08	39.5	39.7	4.58	41.1	41.3	5.08	42.6	42.9	5.58	44.2	44.5
4.09	39.5	39.8	4.59	41.1	41.4	5.09	42.7	43.0	5.59	44.3	44.6
4.10	39.5	39.8	4.60	41.1	41.4	5.10	42.7	43.0	5.60	44.3	44.6
4.11	39.6	39.8	4.61	41.2	41.4	5.11	42.7	43.0	5.61	44.3	44.6
4.12	39.6	39.8	4.62	41.2	41.5	5.12	42.8	43.1	5.62	44.4	44.7
4.13	39.6	39.9	4.63	41.2	41.5	5.13	42.8	43.1	5.63	44.4	44.7
4.14	39.6	39.9	4.64	41.2	41.5	5.14	42.8	43.1	5.64	44.4	44.7
4.15	39.7	39.9	4.65	41.3	41.6	5.15	42.9	43.2	5.65	44.5	44.8
4.16	39.7	40.0	4.66	41.3	41.6	5.16	42.9	43.2	5.66	44.5	44.8
4.17	39.7	40.0	4.67	41.3	41.6	5.17	42.9	43.2	5.67	44.5	44.8
4.18	39.8	40.0	4.68	41.4	41.7	5.18	43.0	43.3	5.68	44.6	44.9
4.19	39.8	40.1	4.69	41.4	41.7	5.19	43.0	43.3	5.69	44.6	44.9
4.20	39.8	40.1	4.70	41.4	41.7	5.20	43.0	43.3	5.70	44.6	44.9
4.21	39.9	40.1	4.71	41.5	41.7	5.21	43.1	43.3	5.71	44.7	45.0
4.22	39.9	40.2	4.72	41.5	41.8	5.22	43.1	43.4	5.72	44.7	45.0
4.23	39.9	40.2	4.73	41.5	41.8	5.23	43.1	43.4	5.73	44.7	45.0
4.24	40.0	40.2	4.74	41.6	41.8	5.24	43.2	43.4	5.74	44.7	45.0



Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
5.75	44.8	45.1	6.25	46.4	46.7	6.75	48.0	48.3	7.25	49.6	49.9
5.76	44.8	45.1	6.26	46.4	46.7	6.76	48.0	48.3	7.26	49.6	50.0
5.77	44.8	45.1	6.27	46.4	46.8	6.77	48.0	48.4	7.27	49.7	50.0
5.78	44.9	45.2	6.28	46.5	46.8	6.78	48.1	48.4	7.28	49.7	50.0
5.79	44.9	45.2	6.29	46.5	46.8	6.79	48.1	48.4	7.29	49.7	50.1
5.80	44.9	45.2	6.30	46.5	46.8	6.80	48.1	48.5	7.30	49.8	50.1
5.81	45.0	45.3	6.31	46.6	46.9	6.81	48.2	48.5	7.31	49.8	50.1
5.82	45.0	45.3	6.32	46.6	46.9	6.82	48.2	48.5	7.32	49.8	50.2
5.83	45.0	45.3	6.33	46.6	46.9	6.83	48.2	48.6	7.33	49.9	50.2
5.84	45.1	45.4	6.34	46.7	47.0	6.84	48.3	48.6	7.34	49.9	50.2
5.85	45.1	45.4	6.35	46.7	47.0	6.85	48.3	48.6	7.35	49.9	50.3
5.86	45.1	45.4	6.36	46.7	47.0	6.86	48.3	48.7	7.36	50.0	50.3
5.87	45.2	45.5	6.37	46.8	47.1	6.87	48.4	48.7	7.37	50.0	50.3
5.88	45.2	45.5	6.38	46.8	47.1	6.88	48.4	48.7	7.38	50.0	50.4
5.89	45.2	45.5	6.39	46.8	47.1	6.89	48.4	48.8	7.39	50.1	50.4
5.90	45.3	45.6	6.40	46.9	47.2	6.90	48.5	48.8	7.40	50.1	50.4
5.91	45.3	45.6	6.41	46.9	47.2	6.91	48.5	48.8	7.41	50.1	50.5
5.92	45.3	45.6	6.42	46.9	47.2	6.92	48.5	48.9	7.42	50.2	50.5
5.93	45.4	45.7	6.43	47.0	47.3	6.93	48.6	48.9	7.43	50.2	50.5
5.94	45.4	45.7	6.44	47.0	47.3	6.94	48.6	48.9	7.44	50.2	50.6
5.95	45.4	45.7	6.45	47.0	47.3	6.95	48.6	49.0	7.45	50.3	50.6
5.96	45.4	45.8	6.46	47.0	47.4	6.96	48.7	49.0	7.46	50.3	50.6
5.97	45.5	45.8	6.47	47.1	47.4	6.97	48.7	49.0	7.47	50.3	50.7
5.98	45.5	45.8	6.48	47.1	47.4	6.98	48.7	49.1	7.48	50.3	50.7
5.99	45.5	45.9	6.49	47.1	47.5	6.99	48.8	49.1	7.49	50.4	50.7
6.00	45.6	45.9	6.50	47.2	47.5	7.00	48.8	49.1	7.50	50.4	50.8
6.01	45.6	45.9	6.51	47.2	47.5	7.01	48.8	49.1	7.51	50.4	50.8
6.02	45.6	45.9	6.52	47.2	47.6	7.02	48.9	49.2	7.52	50.5	50.8
6.03	45.7	46.0	6.53	47.3	47.6	7.03	48.9	49.2	7.53	50.5	50.9
6.04	45.7	46.0	6.54	47.3	47.6	7.04	48.9	49.2	7.54	50.5	50.9
6.05	45.7	46.0	6.55	47.3	47.7	7.05	49.0	49.3	7.55	50.6	50.9
6.06	45.8	46.1	6.56	47.4	47.7	7.06	49.0	49.3	7.56	50.6	51.0
6.07	45.8	46.1	6.57	47.4	47.7	7.07	49.0	49.3	7.57	50.6	51.0
6.08	45.8	46.1	6.58	47.4	47.8	7.08	49.0	49.4	7.58	50.7	51.0
6.09	45.9	46.2	6.59	47.5	47.8	7.09	49.1	49.4	7.59	50.7	51.0
6.10	45.9	46.2	6.60	47.5	47.8	7.10	49.1	49.4	7.60	50.7	51.1
6.11	45.9	46.2	6.61	47.5	47.8	7.11	49.1	49.5	7.61	50.8	51.1
6.12	46.0	46.3	6.62	47.6	47.9	7.12	49.2	49.5	7.62	50.8	51.1
6.13	46.0	46.3	6.63	47.6	47.9	7.13	49.2	49.5	7.63	50.8	51.2
6.14	46.0	46.3	6.64	47.6	47.9	7.14	49.2	49.6	7.64	50.9	51.2
6.15	46.1	46.4	6.65	47.7	48.0	7.15	49.3	49.6	7.65	50.9	51.2
6.16	46.1	46.4	6.66	47.7	48.0	7.16	49.3	49.6	7.66	50.9	51.3
6.17	46.1	46.4	6.67	47.7	48.0	7.17	49.3	49.7	7.67	51.0	51.3
6.18	46.2	46.5	6.68	47.8	48.1	7.18	49.4	49.7	7.68	51.0	51.3
6.19	46.2	46.5	6.68	47.8	48.1	7.19	49.4	49.7	7.69	51.0	51.4
6.20	46.2	46.5	6.70	47.8	48.1	7.20	49.4	49.8	7.70	51.1	51.4
6.21	46.2	46.6	6.71	47.9	48.2	7.21	49.5	49.8	7.71	51.1	51.4
6.22	46.3	46.6	6.72	47.9	48.2	7.22	49.5	49.8	7.72	51.1	51.5
6.23	46.3	46.6	6.73	47.9	48.2	7.23	49.5	49.9	7.73	51.2	51.5
6.24	46.3	46.7	6.74	47.9	48.3	7.24	49.6	49.9	7.74	51.2	51.5

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SU's		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SU's		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SU's		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SU's	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
7.75	51.2	51.6	8.25	52.9	53.2	8.75	54.6	54.9	9.25	56.3	56.6
7.76	51.3	51.6	8.26	52.9	53.3	8.76	54.6	55.0	9.26	56.3	56.7
7.77	51.3	51.6	8.27	53.0	53.3	8.77	54.6	55.0	9.27	56.3	56.7
7.78	51.3	51.7	8.28	53.0	53.3	8.78	54.7	55.0	9.28	56.4	56.7
7.79	51.4	51.7	8.29	53.0	53.4	8.79	54.7	55.1	9.29	56.4	56.8
7.80	51.4	51.7	8.30	53.1	53.4	8.80	54.7	55.1	9.30	56.4	56.8
7.81	51.4	51.8	8.31	53.1	53.4	8.81	54.8	55.1	9.31	56.5	56.8
7.82	51.5	51.8	8.32	53.1	53.5	8.82	54.8	55.2	9.32	56.5	56.9
7.83	51.5	51.8	8.33	53.2	53.5	8.83	54.8	55.2	9.33	56.5	56.9
7.84	51.5	51.9	8.34	53.2	53.5	8.84	54.9	55.2	9.34	56.6	56.9
7.85	51.6	51.9	8.35	53.2	53.6	8.85	54.9	55.3	9.35	56.6	57.0
7.86	51.6	51.9	8.36	53.3	53.6	8.86	54.9	55.3	9.36	56.6	57.0
7.87	51.6	52.0	8.37	53.3	53.6	8.87	55.0	55.3	9.37	56.7	57.0
7.88	51.7	52.0	8.38	53.3	53.7	8.88	55.0	55.4	9.38	56.7	57.1
7.89	51.7	52.0	8.39	53.4	53.7	8.89	55.0	55.4	9.39	56.7	57.1
7.90	51.7	52.1	8.40	53.4	53.7	8.90	55.1	55.4	9.40	56.8	57.1
7.91	51.8	52.1	8.41	53.4	53.8	8.91	55.1	55.5	9.41	56.8	57.2
7.92	51.8	52.1	8.42	53.5	53.8	8.92	55.1	55.5	9.42	56.8	57.2
7.93	51.8	52.2	8.43	53.5	53.8	8.93	55.2	55.5	9.43	56.9	57.2
7.94	51.9	52.2	8.44	53.5	53.9	8.94	55.2	55.6	9.44	56.9	57.3
7.95	51.9	52.2	8.45	53.6	53.9	8.95	55.2	55.6	9.45	56.9	57.3
7.96	51.9	52.3	8.46	53.6	53.9	8.96	55.3	55.6	9.46	57.0	57.4
7.97	52.0	52.3	8.47	53.6	54.0	8.97	55.3	55.7	9.47	57.0	57.4
7.98	52.0	52.3	8.48	53.7	54.0	8.98	55.3	55.7	9.48	57.0	57.4
7.99	52.0	52.4	8.49	53.7	54.0	8.99	55.4	55.7	9.49	57.1	57.5
8.00	52.1	52.4	8.50	53.7	54.1	9.00	55.4	55.8	9.50	57.1	57.5
8.01	52.1	52.4	8.51	53.8	54.1	9.01	55.4	55.8	9.51	57.2	57.6
8.02	52.1	52.5	8.52	53.8	54.1	9.02	55.5	55.8	9.52	57.2	57.6
8.03	52.2	52.5	8.53	53.8	54.2	9.03	55.5	55.9	9.53	57.3	57.7
8.04	52.2	52.5	8.54	53.9	54.2	9.04	55.5	55.9	9.54	57.4	57.8
8.05	52.2	52.6	8.55	53.9	54.2	9.05	55.6	55.9	9.55	57.5	57.8
8.06	52.3	52.6	8.56	53.9	54.3	9.06	55.6	56.0	9.56	57.5	57.9
8.07	52.3	52.6	8.57	54.0	54.3	9.07	55.6	56.0	9.57	57.6	58.0
8.08	52.3	52.7	8.58	54.0	54.3	9.08	55.7	56.0	9.58	57.7	58.0
8.09	52.4	52.7	8.59	54.0	54.4	9.09	55.7	56.1	9.59	57.7	58.1
8.10	52.4	52.7	8.60	54.1	54.4	9.10	55.7	56.1	9.60	57.8	58.2
8.11	52.4	52.8	8.61	54.1	54.5	9.11	55.8	56.1	9.61	57.9	58.3
8.12	52.5	52.8	8.62	54.1	54.5	9.12	55.8	56.2	9.62	57.9	58.3
8.13	52.5	52.8	8.63	54.2	54.5	9.13	55.8	56.2	9.63	58.0	58.4
8.14	52.5	52.9	8.64	54.2	54.6	9.14	55.9	56.3	9.64	58.1	58.5
8.15	52.6	52.9	8.65	54.2	54.6	9.15	55.9	56.3	9.65	58.1	58.5
8.16	52.6	52.9	8.66	54.3	54.6	9.16	55.9	56.3	9.66	58.2	58.6
8.17	52.6	53.0	8.67	54.3	54.7	9.17	56.0	56.4	9.67	58.3	58.7
8.18	52.7	53.0	8.68	54.3	54.7	9.18	56.0	56.4	9.68	58.4	58.7
8.19	52.7	53.0	8.69	54.4	54.7	9.19	56.0	56.4	9.69	58.4	58.8
8.20	52.7	53.1	8.70	54.4	54.8	9.20	56.1	56.5	9.70	58.5	58.9
8.21	52.8	53.1	8.71	54.4	54.8	9.21	56.1	56.5	9.71	58.6	59.0
8.22	52.8	53.1	8.72	54.5	54.8	9.22	56.2	56.5	9.72	58.6	59.0
8.23	52.8	53.2	8.73	54.5	54.9	9.23	56.2	56.6	9.73	58.7	59.1
8.24	52.9	53.2	8.74	54.5	54.9	9.24	56.2	56.6	9.74	58.8	59.2

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
10.00	58.8	59.2	11.0	62.4	62.8	12.00	66.0	66.4	13.00	69.7	70.2
10.02	58.9	59.3	11.02	62.4	62.9	12.02	66.1	66.5	13.02	69.8	70.3
10.04	59.0	59.4	11.04	62.5	62.9	12.04	66.1	66.6	13.04	69.9	70.3
10.06	59.0	59.4	11.06	62.6	63.0	12.06	66.2	66.7	13.06	69.9	70.4
10.08	59.1	59.5	11.08	62.7	63.1	12.08	66.3	66.7	13.08	70.0	70.5
10.10	59.2	59.6	11.10	62.7	63.1	12.10	66.4	66.8	13.10	70.1	70.6
10.12	59.3	59.7	11.12	62.8	63.2	12.12	66.4	66.9	13.12	70.2	70.6
10.14	59.3	59.7	11.14	62.9	63.3	12.14	66.5	67.0	13.14	70.2	70.7
10.16	59.4	59.8	11.16	62.9	63.4	12.16	66.6	67.0	13.16	70.3	70.8
10.18	59.5	59.9	11.18	63.0	63.4	12.18	66.7	67.1	13.18	70.4	70.9
10.20	59.5	59.9	11.20	63.1	63.5	12.20	66.7	67.2	13.20	70.5	70.9
10.22	59.6	60.0	11.22	63.2	63.6	12.22	66.8	67.2	13.22	70.5	71.0
10.24	59.7	60.1	11.24	63.2	63.7	12.24	66.9	67.8	13.24	70.6	71.1
10.26	59.7	60.1	11.26	63.3	63.7	12.26	66.9	67.4	13.26	70.7	71.2
10.28	59.8	60.2	11.28	63.4	63.8	12.28	67.0	67.5	13.28	70.8	71.2
10.30	59.9	60.3	11.30	63.4	63.9	12.30	67.1	67.5	13.30	70.8	71.3
10.32	60.0	60.4	11.32	63.5	63.9	12.32	67.2	67.6	13.32	70.9	71.4
10.34	60.0	60.4	11.34	63.6	64.0	12.34	67.2	67.7	13.34	71.0	71.5
10.36	60.1	60.5	11.36	63.7	64.1	12.36	67.3	67.8	13.36	71.1	71.5
10.38	60.2	60.6	11.38	63.7	64.2	12.38	67.4	67.8	13.38	71.1	71.6
10.40	60.2	60.6	11.40	63.8	64.2	12.40	67.5	67.9	13.40	71.2	71.7
10.42	60.3	60.7	11.42	63.9	64.3	12.42	67.5	68.0	13.42	71.3	71.8
10.44	60.4	60.8	11.44	63.9	64.4	12.44	67.6	68.1	13.44	71.4	71.9
10.46	60.4	60.9	11.46	64.0	64.5	12.46	67.7	68.1	13.46	71.4	71.9
10.48	60.5	60.9	11.48	64.1	64.5	12.48	67.8	68.2	13.48	71.5	72.0
10.50	60.6	61.0	11.50	64.2	64.6	12.50	67.8	68.3	13.50	71.6	72.1
10.52	60.7	61.1	11.52	64.2	64.7	12.52	67.9	68.4	13.52	71.7	72.2
10.54	60.7	61.1	11.54	64.3	64.7	12.54	68.0	68.4	13.54	71.8	72.2
10.56	60.8	61.2	11.56	64.4	64.8	12.56	68.1	68.5	13.56	71.8	72.3
10.58	60.9	61.3	11.58	64.5	64.9	12.58	68.1	68.6	13.58	71.9	72.4
10.60	60.9	61.4	11.60	64.5	65.0	12.60	68.2	68.7	13.60	72.0	72.5
10.62	61.0	61.4	11.62	64.6	65.0	12.62	68.3	68.7	13.62	72.1	72.5
10.64	61.1	61.5	11.64	64.7	65.1	12.64	68.4	68.8	13.64	72.1	72.6
10.66	61.2	61.6	11.66	64.7	65.2	12.66	68.4	68.9	13.66	72.2	72.7
10.68	61.2	61.6	11.68	64.8	65.3	12.68	68.4	69.0	13.68	72.3	72.8
10.70	61.3	61.7	11.70	64.9	65.3	12.70	68.6	69.0	13.70	72.4	72.8
10.72	61.4	61.8	11.72	65.0	65.4	12.72	68.7	69.1	13.72	72.4	72.9
10.74	61.4	61.9	11.74	65.0	65.5	12.74	68.7	69.2	13.74	72.5	73.0
10.76	61.5	61.9	11.76	65.1	65.5	12.76	68.8	69.3	13.76	72.6	73.1
10.78	61.6	62.0	11.78	65.2	65.6	12.78	68.9	69.3	13.78	72.7	73.2
10.80	61.7	62.1	11.80	65.3	65.7	12.80	69.0	69.4	13.80	72.7	73.2
10.82	61.7	62.1	11.82	65.3	65.8	12.82	69.0	69.5	13.82	72.8	73.3
10.84	61.8	62.2	11.84	65.4	65.8	12.84	69.1	69.6	13.84	72.9	73.4
10.86	61.9	62.3	11.86	65.5	65.9	12.86	69.2	69.6	13.86	73.0	73.5
10.88	61.9	62.4	11.88	65.6	66.0	12.88	69.3	69.7	13.88	73.1	73.5
10.90	62.0	62.4	11.90	65.6	66.1	12.90	69.3	69.8	13.90	73.1	73.6
10.92	62.1	62.5	11.92	65.7	66.1	12.92	69.4	69.9	13.92	73.2	73.7
10.94	62.2	62.6	11.94	65.8	66.2	12.94	69.5	69.9	13.94	73.3	73.8
10.96	62.2	62.6	11.96	65.8	66.3	12.96	69.6	70.0	13.96	73.4	73.9
10.98	62.3	62.7	11.98	65.9	66.4	12.98	69.6	70.1	13.98	73.4	73.9

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
14.00	73.5	74.0	15.00	77.4	77.9	16.00	81.4	81.9	17.00	85.4	86.0
14.02	73.6	74.1	15.02	77.5	78.0	16.02	81.4	82.0	17.02	85.5	86.0
14.04	73.7	74.2	15.04	77.6	78.1	16.04	81.5	82.1	17.04	85.6	86.1
14.06	73.7	74.2	15.06	77.6	78.2	16.06	81.6	82.2	17.06	85.6	86.2
14.08	73.8	74.3	15.08	77.7	78.2	16.08	81.7	82.2	17.08	85.7	86.3
14.10	73.9	74.4	15.10	78.3	78.3	16.10	81.8	82.3	17.10	85.8	86.4
14.12	74.0	74.5	15.12	78.4	78.4	16.12	81.8	82.4	17.12	85.9	86.5
14.14	74.1	74.6	15.14	78.5	78.5	16.14	81.9	82.5	17.14	86.0	86.5
14.16	74.1	74.6	15.16	78.6	78.6	16.16	82.0	82.6	17.16	86.0	86.6
14.18	74.2	74.7	15.18	78.6	78.6	16.18	82.1	82.6	17.18	86.1	86.7
14.20	74.3	74.8	15.20	78.7	78.7	16.20	82.2	82.7	17.20	86.2	86.8
14.22	74.4	74.9	15.22	78.8	78.8	16.22	82.2	82.8	17.22	86.3	86.9
14.24	74.4	74.9	15.24	78.9	78.9	16.24	82.3	82.9	17.24	86.4	86.9
14.26	74.5	75.0	15.26	79.0	79.0	16.26	82.4	83.0	17.26	86.5	87.0
14.28	74.6	75.1	15.28	79.0	79.0	16.28	82.5	83.0	17.28	86.5	87.1
14.30	74.7	75.2	15.30	79.1	79.1	16.30	82.6	83.1	17.30	86.6	87.2
14.32	74.7	75.3	15.32	79.2	79.2	16.32	82.6	83.2	17.32	86.7	87.3
14.34	74.8	75.3	15.34	79.3	79.3	16.34	82.7	83.3	17.34	86.8	87.4
14.36	74.9	75.4	15.36	79.3	79.3	16.36	82.8	83.4	17.36	86.9	87.4
14.38	75.0	75.5	15.38	79.4	79.4	16.38	82.9	83.4	17.38	86.9	87.5
14.40	75.1	75.6	15.40	79.5	79.5	16.40	83.0	83.5	17.40	87.0	87.2
14.42	75.1	75.6	15.42	79.6	79.6	16.42	83.0	83.6	17.42	87.1	87.3
14.44	75.2	75.7	15.44	79.7	79.7	16.44	83.1	83.7	17.44	87.2	87.4
14.46	75.3	75.8	15.46	79.7	79.7	16.46	83.2	83.8	17.46	87.3	87.4
14.48	75.4	75.9	15.48	79.8	79.8	16.48	83.3	83.8	17.48	87.3	87.5
14.50	75.4	76.0	15.50	79.9	79.9	16.50	83.4	83.9	17.50	87.4	87.6
14.52	75.5	76.0	15.52	80.0	80.0	16.52	83.5	84.0	17.52	87.5	87.7
14.54	75.6	76.1	15.54	80.1	80.1	16.54	83.5	84.1	17.54	87.6	87.8
14.56	75.7	76.2	15.56	80.1	80.1	16.56	83.6	84.2	17.56	87.7	87.9
14.58	75.8	76.3	15.58	80.2	80.2	16.58	83.7	84.3	17.58	87.8	87.9
14.60	75.8	76.3	15.60	80.3	80.3	16.60	83.8	84.3	17.60	87.8	88.0
14.62	75.9	76.4	15.62	80.4	80.4	16.62	83.9	84.4	17.62	87.9	88.1
14.64	76.0	76.5	15.64	80.5	80.5	16.64	83.9	84.5	17.64	88.0	88.2
14.66	76.1	76.6	15.66	80.5	80.5	16.66	84.0	84.6	17.66	88.1	88.3
14.68	76.1	76.7	15.68	80.6	80.6	16.68	84.1	84.7	17.68	88.2	88.3
14.70	76.2	76.7	15.70	80.7	80.7	16.70	84.2	84.7	17.70	88.3	88.4
14.72	76.3	76.8	15.72	80.8	80.8	16.72	84.3	84.8	17.72	88.3	88.5
14.74	76.4	76.9	15.74	80.9	80.9	16.74	84.3	84.9	17.74	88.4	88.6
14.76	76.5	77.0	15.76	80.9	80.9	16.76	84.4	85.0	17.76	88.5	88.7
14.78	76.5	77.1	15.78	81.0	81.0	16.78	84.5	85.1	17.78	88.6	88.8
14.80	76.6	77.1	15.80	81.1	81.1	16.80	84.6	85.1	17.80	88.7	88.8
14.82	76.7	77.2	15.82	81.2	81.2	16.82	84.7	85.2	17.82	88.7	88.9
14.84	76.8	77.3	15.84	81.3	81.3	16.84	84.7	85.3	17.84	88.8	89.0
14.86	76.9	77.4	15.86	81.3	81.3	16.86	84.8	85.4	17.86	88.9	89.1
14.88	76.9	77.4	15.88	81.4	81.4	16.88	84.9	85.5	17.88	89.0	89.2
14.90	77.0	77.5	15.90	81.5	81.5	16.90	85.0	85.6	17.90	89.1	89.3
14.92	77.1	77.6	15.92	81.6	81.6	16.92	85.1	85.6	17.92	89.2	89.3
14.94	77.2	77.7	15.94	81.7	81.7	16.94	85.1	85.7	17.94	89.2	89.4
14.96	77.2	77.8	15.96	81.7	81.7	16.96	85.2	85.8	17.96	89.3	89.5
14.98	77.3	77.3	15.98	81.8	81.8	16.98	85.3	85.9	17.98	89.4	89.6

Tabla I(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	cSt	a 38°C		a 99°C	cSt		a 38°C	a 99°C		cSt	a 38°C
18.00	89.5	90.1	19.00	93.6	94.3	20.00	97.8	98.5	22.50	108.5	109.2
18.02	89.6	90.2	19.02	93.7	94.3	20.05	98.0	98.7	22.55	108.7	109.4
18.04	89.6	92.0	19.04	93.8	94.4	20.10	98.2	98.9	22.60	108.9	109.6
18.06	89.7	90.3	19.06	93.9	94.5	20.15	98.5	98.1	22.65	109.1	109.9
18.08	89.8	90.4	19.08	94.0	94.6	20.20	98.7	99.3	22.70	109.4	110.1
18.10	89.9	90.5	19.10	94.0	94.7	20.25	98.9	99.5	22.75	109.6	110.3
18.12	90.0	90.6	19.12	94.1	94.8	20.30	99.1	99.8	22.80	109.8	110.5
18.14	90.1	90.7	19.14	94.2	94.8	20.35	99.3	100.0	22.85	110.0	110.7
18.16	90.1	90.7	19.16	94.3	94.9	20.40	99.5	100.2	22.90	110.2	111.0
18.18	90.2	90.8	19.18	94.4	95.0	20.45	99.7	100.4	22.95	110.4	111.2
18.20	90.3	90.9	19.20	94.5	95.1	20.50	99.9	100.6	23.00	110.6	111.4
18.22	90.4	91.0	19.22	94.5	95.2	20.55	100.1	100.8	23.05	110.9	111.6
18.24	90.5	91.1	19.24	94.6	95.3	20.60	100.4	101.0	23.10	111.1	111.8
18.26	90.6	91.2	19.26	94.7	95.4	20.65	100.6	101.2	23.15	111.3	112.0
18.28	90.6	91.2	19.28	94.8	95.4	20.70	100.8	101.5	23.20	111.5	112.3
18.30	90.7	91.3	19.30	94.9	95.5	20.75	101.0	101.7	23.25	111.7	112.5
18.32	90.8	91.4	19.32	95.0	95.6	20.80	101.2	101.9	23.30	111.9	112.7
18.34	90.9	91.5	19.34	95.0	95.7	20.85	101.4	102.1	23.35	112.2	112.9
18.36	91.0	91.6	19.36	95.1	95.8	20.90	101.6	102.3	23.40	112.4	113.1
18.38	91.1	91.7	19.38	95.2	95.9	20.95	101.8	102.5	23.45	112.6	113.4
18.40	91.1	91.7	19.40	95.3	95.9	21.00	102.1	102.7	23.50	112.8	113.6
18.42	91.2	91.8	19.42	95.4	96.0	21.05	102.3	103.0	23.55	113.0	113.8
18.44	91.3	91.9	19.44	95.5	96.1	21.10	102.5	103.2	23.60	113.2	114.0
18.46	91.4	92.0	19.46	95.6	96.2	21.15	102.7	103.4	23.65	113.5	114.2
18.48	91.5	92.1	19.48	95.6	96.3	21.20	102.9	103.6	23.70	113.7	114.4
18.50	91.5	92.2	19.50	95.7	96.4	21.25	103.1	103.8	23.75	113.9	114.7
18.52	91.6	92.2	19.52	95.8	96.4	21.30	103.3	104.0	23.80	114.1	114.9
18.54	91.7	92.3	19.54	95.9	96.5	21.35	103.6	104.2	23.85	114.3	115.1
18.56	91.8	92.4	19.56	96.0	96.6	21.40	103.8	104.5	23.90	114.6	115.3
18.58	91.9	92.5	19.58	96.1	96.7	21.45	104.0	104.7	23.95	114.8	115.5
18.60	92.0	92.6	19.60	96.1	96.8	21.50	104.2	104.9	24.00	115.0	115.8
18.62	92.0	92.7	19.62	96.2	96.9	21.55	104.4	105.1	24.05	115.2	116.0
18.64	92.1	92.7	19.64	96.3	97.0	21.60	104.6	105.3	24.10	115.4	116.2
18.66	92.2	92.8	19.66	96.4	97.0	21.65	104.8	105.5	24.15	115.6	116.4
18.68	92.3	92.9	19.68	96.5	97.1	21.70	105.0	105.8	24.20	115.9	116.6
18.70	92.4	93.0	19.70	96.6	97.2	21.75	105.3	106.0	24.25	116.1	116.9
18.72	92.5	93.1	19.72	96.6	97.3	21.80	105.5	106.2	24.30	116.3	117.1
18.74	92.5	93.2	19.74	96.7	97.4	21.85	105.7	106.4	24.35	116.5	117.3
18.76	92.6	93.3	19.76	96.8	97.5	21.90	105.9	106.6	24.40	116.7	117.5
18.78	92.7	93.3	19.78	96.9	97.5	21.95	106.1	106.8	24.45	117.0	117.7
18.80	92.8	93.4	19.80	97.0	97.6	22.00	106.3	107.0	24.50	117.2	118.0
18.82	92.9	93.5	19.82	97.1	97.7	22.05	106.6	107.3	24.55	117.4	118.2
18.84	93.0	93.6	19.84	97.1	97.8	22.10	106.8	107.5	24.60	117.6	118.4
18.86	93.0	93.7	19.86	97.2	97.9	22.15	107.0	107.7	24.65	117.8	118.6
18.88	93.1	93.8	19.88	97.3	98.0	22.20	107.2	107.9	24.70	118.0	118.8
18.90	93.2	93.8	19.90	97.4	98.1	22.25	107.4	108.1	24.75	118.3	119.1
18.92	93.3	93.9	19.92	97.5	98.1	22.30	107.6	108.3	24.80	118.5	119.3
18.94	93.4	94.0	19.94	97.6	98.2	22.35	107.8	108.6	24.85	118.7	119.5
18.96	93.5	94.1	19.96	97.7	98.3	22.40	108.1	108.8	24.90	118.9	119.7
18.98	93.5	94.2	19.98	97.7	98.4	22.45	108.3	109.0	24.95	119.1	119.9

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	cSt	a 38°C		a 99°C	cSt		a 38°C	a 99°C		cSt	a 38°C
25.00	119.4	120.2	27.30	130.4	131.3	30.00	141.5	142.5	32.50	152.7	153.8
25.05	119.6	120.4	27.55	130.6	131.5	30.05	141.7	142.7	32.55	153.0	154.0
25.10	119.8	120.6	27.60	130.8	131.7	30.10	142.0	142.9	32.60	153.2	154.2
25.15	120.0	120.8	27.65	131.0	131.9	30.15	142.2	143.1	32.65	153.4	154.4
25.20	120.2	121.0	27.70	131.3	132.1	30.20	142.4	143.4	32.70	153.6	154.7
25.25	120.5	121.3	27.75	131.5	132.4	30.25	142.6	143.6	32.75	153.9	154.9
25.30	120.7	121.5	27.80	131.7	132.6	30.30	142.9	143.8	32.80	154.1	155.1
25.35	120.9	121.7	27.85	131.9	132.8	30.35	143.1	144.0	32.85	154.3	155.4
25.40	121.1	121.9	27.90	132.2	133.0	30.40	143.3	144.3	32.90	154.5	155.6
20.45	121.3	122.1	27.95	132.4	133.3	30.45	143.5	144.5	32.95	154.8	155.8
25.50	121.6	122.4	28.00	132.6	133.5	30.50	143.8	144.7	33.00	155.0	156.0
25.55	121.8	122.6	28.05	132.8	133.7	30.55	144.0	144.9	33.05	155.2	156.3
25.60	122.0	122.8	28.10	133.0	133.9	30.60	144.2	145.2	33.10	155.4	156.5
25.65	122.2	123.0	28.15	133.3	134.2	30.65	144.4	145.4	33.15	155.7	156.7
25.70	122.4	123.3	28.20	133.5	134.4	30.70	144.6	145.6	33.20	155.9	156.9
25.75	122.6	123.5	28.25	133.7	134.6	30.75	144.9	145.8	33.25	156.1	157.2
25.80	122.9	123.7	28.30	133.9	134.8	30.80	145.1	146.1	33.30	156.3	157.4
25.85	123.1	123.9	28.35	134.2	135.1	30.85	145.3	146.3	33.35	156.6	157.6
25.90	123.3	124.1	28.40	134.4	135.3	30.90	145.5	146.5	33.40	156.8	157.8
25.95	123.5	124.4	28.45	134.6	135.5	30.95	145.8	146.7	33.45	157.0	158.1
26.00	123.7	124.6	28.50	134.8	135.7	31.00	146.0	147.0	33.50	157.2	158.3
26.05	124.0	124.8	28.55	135.0	135.9	31.05	146.2	147.2	33.55	157.5	158.5
26.10	124.2	125.0	28.60	135.3	136.2	31.10	146.4	147.4	33.60	157.7	158.8
26.15	124.2	125.2	28.65	135.5	136.4	31.15	146.7	147.7	33.65	157.9	159.0
26.20	124.6	125.5	28.70	135.7	136.6	31.20	146.9	147.9	33.70	158.2	159.2
26.25	124.9	125.7	28.75	135.9	136.8	31.25	147.1	148.1	33.75	158.4	159.4
26.30	125.1	125.9	28.80	136.2	137.1	31.30	147.3	148.3	33.80	158.6	159.7
26.35	125.3	126.1	28.85	136.4	137.3	31.35	147.6	148.6	33.85	158.8	159.9
26.40	125.5	126.4	28.90	136.6	137.5	31.40	147.8	148.8	33.90	159.1	160.1
26.45	125.7	126.6	28.95	136.8	137.7	31.45	148.0	149.0	33.95	159.3	160.3
26.50	126.0	126.8	29.00	137.0	138.0	31.50	148.2	149.2	34.00	159.5	160.6
26.55	126.2	127.0	29.05	137.3	138.2	31.55	148.5	149.5	34.05	159.7	160.8
26.60	126.4	127.2	29.10	137.5	138.4	31.60	148.7	149.7	34.10	160.0	161.0
26.65	126.6	127.5	29.15	137.7	138.6	31.65	148.9	149.9	34.15	160.2	161.3
26.70	126.8	127.7	29.20	137.9	138.9	31.70	149.1	150.1	34.20	160.4	161.5
26.75	127.1	127.9	29.25	138.2	139.1	31.75	149.4	150.4	34.25	160.6	161.7
26.80	127.3	128.1	29.30	138.4	139.3	31.80	149.6	150.6	34.30	160.9	161.9
26.85	127.5	128.4	29.35	138.6	139.5	31.85	149.8	150.8	34.35	161.1	162.2
26.90	127.7	128.6	29.40	138.8	139.8	31.90	150.0	151.0	34.40	161.3	162.4
26.95	127.9	128.8	29.45	139.1	140.0	31.95	150.3	151.3	34.45	161.5	162.6
27.00	128.2	129.0	29.50	139.3	140.2	32.00	150.5	151.5	34.50	161.8	162.9
27.05	128.4	129.2	29.55	139.5	140.4	32.05	150.7	151.7	34.55	162.0	163.1
27.10	128.6	129.5	29.60	139.7	140.7	32.10	150.9	152.0	34.60	162.2	163.3
27.15	128.8	129.7	29.65	140.0	140.9	32.15	151.2	152.2	34.65	162.4	163.5
27.20	129.0	129.9	29.70	140.2	141.1	32.20	151.4	152.4	34.70	162.7	163.8
27.25	129.3	130.1	29.75	140.4	141.3	32.25	151.6	152.6	34.75	162.9	164.0
27.30	129.5	130.4	29.80	140.6	141.6	32.30	151.8	152.9	34.80	163.1	164.2
27.35	129.7	130.6	29.85	140.8	141.8	32.35	152.1	153.1	34.85	163.3	164.4
27.40	129.9	130.8	29.90	141.1	142.0	32.40	152.3	153.3	34.90	163.6	164.7
27.45	130.2	131.0	29.95	141.3	142.2	32.45	152.5	153.5	34.95	163.8	164.9

Tabla 1 (cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
35.00	164.0	165.1	37.30	175.4	176.5	40.00	186.8	188.0	42.50	198.2	199.5
35.05	164.3	165.4	37.35	175.6	176.8	40.05	187.0	188.2	42.55	198.4	199.7
35.10	164.5	165.6	37.60	175.8	177.0	40.10	187.2	188.5	42.60	198.6	200
35.15	164.7	165.8	37.65	176.1	177.2	40.15	187.4	188.7	42.65	198.9	200
35.20	164.9	166.0	37.70	176.3	177.5	40.20	187.7	188.9	42.70	199.1	200
35.25	165.2	166.3	37.75	176.5	177.7	40.25	187.9	189.2	42.75	199.3	200
35.30	165.4	166.5	37.80	176.7	177.9	40.30	188.1	189.4	42.80	199.5	200
35.35	165.6	166.7	37.85	177.0	178.1	40.35	188.4	189.6	42.85	199.8	201
35.40	165.8	167.0	37.90	177.2	178.4	40.40	188.6	189.8	42.90	200	201
35.45	166.1	167.2	37.95	177.4	178.6	40.45	188.8	190.1	42.95	200	201
35.50	166.3	167.4	38.00	177.6	178.8	40.50	189.0	190.3	43.00	200	201
35.55	166.5	167.6	38.05	177.9	179.1	40.55	189.3	190.5	43.05	201	202
35.60	166.7	167.9	38.10	178.1	179.3	40.60	189.5	190.8	43.10	201	202
35.65	167.0	168.1	38.15	178.3	179.5	40.65	189.7	191.0	43.15	201	202
35.70	167.2	168.3	38.20	178.6	179.8	40.70	189.9	191.2	43.20	201	202
35.75	167.4	168.6	38.25	178.8	180.0	40.75	190.2	191.5	43.25	202	202
35.80	167.7	168.8	38.30	179.0	180.2	40.80	190.4	191.7	43.30	202	203
35.85	167.9	169.0	38.35	179.2	180.4	40.85	190.6	191.9	43.35	202	203
35.90	168.1	169.2	38.40	179.5	180.7	40.90	190.9	192.1	43.40	202	203
35.95	168.3	169.5	38.45	179.7	180.9	40.95	191.1	192.4	43.45	203	203
36.00	168.6	169.7	38.50	179.9	181.1	41.00	191.3	192.6	43.50	203	204
36.05	168.8	169.9	38.55	180.1	181.4	41.05	191.5	192.8	43.55	203	204
36.10	169.0	170.1	38.60	180.4	181.6	41.10	191.8	193.1	43.60	203	204
36.15	169.2	170.4	38.65	180.6	181.8	41.15	192.0	193.3	43.65	203	204
36.20	169.5	170.6	38.70	180.8	182.0	41.20	192.2	193.5	43.70	204	205
36.25	169.7	170.8	38.75	181.1	182.3	41.25	192.5	193.7	43.75	204	205
36.30	169.9	171.7	38.80	181.3	182.5	41.30	192.7	194.0	43.80	204	205
36.35	170.1	171.3	38.85	181.5	182.7	41.35	192.9	194.2	43.85	204	205
36.40	170.4	171.5	38.90	181.7	183.0	41.40	193.1	194.4	43.90	205	205
36.45	170.6	171.7	38.95	182.0	183.2	41.45	193.4	194.7	43.95	205	206
36.50	170.8	172.0	39.00	182.2	183.4	41.50	193.6	194.9	44.00	205	206
36.55	171.7	172.2	39.05	182.4	183.6	41.55	193.8	195.1	44.05	205	206
36.60	171.3	172.4	39.10	182.7	183.9	41.60	194.1	195.4	44.10	205	206
36.65	171.5	172.7	39.15	182.9	184.1	41.65	194.3	195.6	44.15	206	207
36.70	171.7	172.9	39.20	183.1	184.3	41.70	194.5	195.8	44.20	206	207
36.75	172.0	173.1	39.25	183.3	184.6	41.75	194.7	196.0	44.25	206	207
36.80	172.2	173.3	39.30	183.6	184.8	41.80	195.0	196.3	44.30	206	207
36.85	172.4	173.6	39.35	183.8	185.0	41.85	195.2	196.5	44.35	207	208
36.90	172.7	173.8	39.40	184.0	185.0	41.90	195.4	196.7	44.40	207	208
36.95	172.9	174.0	39.45	184.2	185.5	41.95	195.7	197.0	44.45	207	208
37.00	173.1	174.3	39.50	184.5	185.7	42.00	195.9	197.2	44.50	207	208
37.05	173.3	174.5	39.55	184.7	185.9	42.05	196.1	197.4	44.55	208	208
37.10	173.6	174.7	39.60	184.9	186.2	42.10	196.3	197.7	44.60	208	209
37.15	173.8	174.9	39.65	185.2	186.4	42.15	196.6	197.9	44.65	208	209
37.20	174.0	175.2	39.70	185.4	186.6	42.20	196.8	198.1	44.70	208	209
37.25	174.3	175.4	39.75	185.6	186.9	42.25	197.0	198.3	44.75	208	209
37.30	174.5	175.6	39.80	185.8	187.1	42.30	197.3	198.6	44.80	209	210
37.35	174.7	175.9	39.85	186.1	187.3	42.35	197.5	198.8	44.85	209	210
37.40	174.9	176.1	39.90	186.3	187.5	42.40	197.7	199.0	44.90	209	210
37.45	175.2	176.3	39.95	186.5	187.8	42.45	197.9	199.3	44.95	209	210

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	cSt	a 38°C		a 99°C	cSt		a 38°C	a 99°C		cSt	a 38°C
45.00	210	211	47.30	221	222	50.0	233	234	55.0	256	257
45.05	210	211	47.55	221	222	50.1	233	234	55.1	256	257
45.10	210	211	47.60	222	223	50.2	233	235	55.2	256	258
45.15	210	211	47.65	222	223	50.3	234	235	55.3	257	258
45.20	211	211	47.70	222	223	50.4	234	235	55.4	257	259
45.25	211	212	47.75	222	223	50.5	235	236	55.5	258	259
45.30	211	212	47.80	222	223	50.6	235	236	55.6	258	260
45.35	211	212	47.85	223	224	50.7	236	237	55.7	259	260
45.40	211	212	47.90	223	224	50.8	236	237	55.8	259	260
45.45	212	213	47.95	223	224	50.9	237	238	55.9	260	261
45.50	212	213	48.00	223	224	51.0	237	238	56.0	260	261
45.55	212	213	48.05	224	225	51.1	238	239	56.1	261	262
45.60	212	213	48.10	224	225	51.2	238	239	56.2	261	262
45.65	213	214	48.15	224	225	51.3	239	240	56.3	262	263
45.70	213	214	48.20	224	225	51.4	239	240	56.4	262	263
45.75	213	214	48.25	225	226	51.5	239	241	56.5	262	264
45.80	213	214	49.30	225	226	51.6	240	241	56.6	263	264
45.85	214	214	48.35	225	226	51.7	240	241	56.7	263	265
45.90	214	215	48.40	225	226	51.8	241	242	56.8	264	265
45.95	214	215	48.45	225	226	51.9	241	242	56.9	264	266
46.00	214	215	48.50	226	227	52.0	242	243	57.0	265	266
46.05	214	215	48.55	226	227	52.1	242	243	57.1	265	266
46.10	215	216	48.60	226	227	52.2	243	244	57.2	266	267
46.15	215	216	48.65	226	227	52.3	243	244	57.3	266	267
46.20	215	216	48.70	227	228	52.4	244	245	57.4	267	268
46.25	215	216	48.75	227	228	52.5	244	245	57.5	267	268
46.30	216	217	48.80	227	228	52.6	245	246	57.6	268	269
46.35	216	217	48.85	227	228	52.7	245	246	57.7	268	269
46.40	216	217	48.90	227	229	52.8	245	247	57.8	268	270
46.45	216	217	48.95	228	229	52.9	246	247	57.9	269	270
46.50	216	217	49.00	228	229	53.0	246	247	58.0	269	271
46.55	217	218	49.05	228	229	53.1	247	248	58.1	270	271
46.60	217	218	49.10	228	229	53.2	247	248	58.2	270	272
46.65	217	218	49.15	229	230	53.3	248	249	58.3	271	272
46.70	217	218	49.20	229	230	53.4	248	249	58.4	271	273
46.75	218	219	49.25	229	230	53.5	249	250	58.5	272	273
46.80	218	219	49.30	229	230	53.6	249	250	58.6	272	273
46.85	218	219	49.35	230	231	53.7	250	251	58.7	273	274
46.90	218	219	49.40	230	231	53.8	250	251	58.8	273	274
46.95	219	220	49.45	230	231	53.9	250	252	58.9	273	274
47.00	219	220	49.50	230	231	54.0	251	252	59.0	274	275
47.05	219	220	49.55	230	232	54.1	251	253	59.1	274	276
47.10	219	220	49.60	231	232	54.2	252	253	59.2	275	276
47.15	219	220	49.65	231	232	54.3	252	254	59.3	275	277
47.20	220	221	49.70	231	232	54.4	253	254	59.4	276	277
47.25	220	221	49.75	231	232	54.5	253	254	59.5	276	278
47.30	220	221	49.80	232	233	54.6	254	255	59.6	277	278
47.35	220	221	49.85	232	233	54.7	254	255	59.7	277	279
47.40	221	222	49.90	232	233	54.8	255	256	59.8	278	279
47.45	221	222	49.95	232	233	54.9	255	256	59.9	278	279



Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
60.0	279	280	65.0	302	303	70.0	325	326	75.0	348	350
60.1	279	280	65.1	302	304	70.1	325	327	75.1	348	350
60.2	280	281	65.2	303	304	70.2	326	327	75.2	349	351
60.3	280	281	65.3	303	305	70.3	326	328	75.3	349	351
60.4	280	282	65.4	303	305	70.4	327	328	75.4	350	352
60.5	281	282	65.5	304	305	70.5	327	329	75.5	350	352
60.6	281	283	65.6	304	306	70.6	328	329	75.6	351	352
60.7	282	283	65.7	305	306	70.7	328	330	75.7	351	353
60.8	282	284	65.8	305	307	70.8	328	330	75.8	352	353
60.9	283	284	65.9	306	307	70.9	329	331	75.9	352	354
61.0	283	285	66.0	306	308	71.0	329	331	76.0	352	354
61.1	284	285	66.1	307	308	71.1	330	332	76.1	353	355
61.2	284	286	66.2	307	309	71.2	330	332	76.2	353	355
61.3	285	286	66.3	308	309	71.3	331	332	76.3	354	356
61.4	285	286	66.4	308	310	71.4	331	333	76.4	354	356
61.5	286	287	66.5	309	310	71.5	332	333	76.5	355	357
61.6	286	287	66.6	309	311	71.6	332	334	76.6	355	357
61.7	286	288	66.7	309	311	71.7	333	334	76.7	356	358
61.8	287	288	66.8	310	312	71.8	333	335	76.8	356	358
61.9	287	289	66.9	310	312	71.9	334	335	76.9	357	359
62.0	288	289	67.0	311	312	72.0	334	336	77.0	357	359
62.1	288	290	67.1	311	313	72.1	334	336	77.1	358	359
62.2	289	290	67.2	312	313	72.2	335	337	77.2	358	360
62.3	289	291	67.3	312	314	72.3	335	337	77.3	358	360
62.4	290	291	67.4	313	314	72.4	336	338	77.4	359	361
62.5	290	292	67.5	313	315	72.5	336	338	77.5	359	361
62.6	291	292	67.6	314	315	72.6	337	339	77.6	360	362
62.7	291	292	67.7	314	316	72.7	337	339	77.7	360	362
62.8	291	293	67.8	315	316	72.8	338	339	77.8	361	363
62.9	292	293	67.9	315	317	72.9	338	340	77.9	361	363
63.0	292	294	68.0	315	317	73.0	339	340	78.0	362	364
63.1	293	294	68.1	316	318	73.1	339	341	78.1	362	364
63.2	293	295	68.2	316	318	73.2	340	341	78.2	363	365
63.3	294	295	68.3	317	319	73.3	340	342	78.3	363	365
63.4	294	296	68.4	317	319	73.4	340	342	78.4	364	365
63.5	295	296	68.5	318	319	73.5	341	343	78.5	364	366
63.6	295	297	68.6	318	320	73.6	341	343	78.6	364	366
63.7	296	297	68.7	319	320	73.7	342	344	78.7	365	367
63.8	296	298	68.8	319	321	73.8	342	344	78.8	365	367
63.9	297	298	68.9	320	321	73.9	343	345	78.9	366	368
64.0	297	299	69.0	320	322	74.0	343	345	79.0	366	368
64.1	297	299	69.1	321	322	74.1	344	345	79.1	367	369
64.2	298	299	69.2	321	323	74.2	344	346	79.2	367	369
64.3	298	300	69.3	322	323	74.3	345	346	79.3	368	370
64.4	299	300	69.4	322	324	74.4	345	347	79.4	368	370
64.5	299	301	69.5	322	324	74.5	346	347	79.5	369	371
64.6	300	301	69.6	323	325	74.6	346	348	79.6	369	371
64.7	300	302	69.7	323	325	74.7	346	348	79.7	370	372
64.8	301	302	69.8	324	325	74.8	347	349	79.8	370	372
64.9	301	303	69.9	324	326	74.9	347	349	79.9	370	372

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
80.0	371	373	85.0	394	396	90.0	417	419	95.0	440	443
80.1	371	373	85.1	395	397	90.1	418	420	95.1	441	443
80.2	372	374	85.2	395	397	90.2	418	420	95.2	441	444
80.3	372	374	85.3	395	398	90.3	419	421	95.3	442	444
80.4	373	375	85.4	396	398	90.4	419	421	95.4	442	445
80.5	373	375	85.5	396	399	90.5	420	422	95.5	443	445
80.6	374	376	85.6	397	399	90.6	420	422	95.6	443	446
80.7	374	376	85.7	397	399	90.7	420	423	95.7	444	446
80.8	375	377	85.8	398	400	90.8	421	423	95.8	444	447
80.9	375	377	85.9	398	400	90.9	421	424	95.9	444	447
81.0	376	378	86.0	399	401	91.0	422	424	96.0	445	447
81.1	376	378	86.1	399	401	91.1	422	425	96.1	445	448
81.2	376	379	86.2	400	402	91.2	423	425	96.2	446	448
81.3	377	379	86.3	400	402	91.3	423	426	96.3	446	449
81.4	377	379	86.4	401	403	91.4	424	426	96.4	447	449
81.5	378	380	86.5	401	403	91.5	424	426	96.5	447	450
81.6	378	380	86.6	401	404	91.6	425	427	96.6	448	450
81.7	379	381	86.7	402	404	91.7	425	427	96.7	448	451
81.8	379	381	86.8	402	405	91.8	426	428	96.8	449	451
81.9	380	382	86.9	403	405	91.9	426	428	96.9	449	452
82.0	380	382	87.0	403	406	92.0	426	429	97.0	450	452
82.1	381	383	87.1	404	406	92.1	427	429	97.1	450	453
82.2	381	383	87.2	404	406	92.2	427	430	97.2	451	453
82.3	382	384	87.3	405	407	92.3	428	430	97.3	451	453
82.4	382	384	87.4	405	407	92.4	428	431	97.4	451	454
82.5	383	385	87.5	406	408	92.5	429	431	97.5	452	454
82.6	383	385	87.6	406	408	92.6	429	432	97.6	452	455
82.7	383	386	87.7	407	409	92.7	430	432	97.7	453	455
82.8	384	386	87.8	407	409	92.8	430	433	97.8	453	456
82.9	384	386	87.9	407	410	92.9	431	433	97.9	454	456
83.0	385	387	88.0	408	410	93.0	431	433	98.0	454	457
83.1	385	387	88.1	408	411	93.1	432	434	98.1	455	457
83.2	386	388	88.2	409	411	93.2	432	434	98.2	455	458
83.3	386	388	88.3	409	412	93.3	432	435	98.3	456	458
83.4	387	389	88.4	410	412	93.4	433	435	98.4	456	459
83.5	387	389	88.5	410	413	93.5	433	436	98.5	457	459
83.6	388	390	88.6	411	413	93.6	434	436	98.6	457	460
83.7	388	390	88.7	411	413	93.7	434	437	98.7	457	460
83.8	389	391	88.8	412	414	93.8	435	437	98.8	458	460
83.9	389	391	88.9	412	414	93.9	435	438	98.9	458	461
84.0	389	392	89.0	413	415	94.0	436	438	99.0	459	461
84.1	390	392	89.1	413	415	94.1	436	439	99.1	459	462
84.2	390	392	89.2	413	416	94.2	437	439	99.2	460	462
84.3	391	393	89.3	414	416	94.3	437	440	99.3	460	463
84.4	391	393	89.4	414	417	94.4	438	440	99.4	461	463
84.5	392	394	89.5	415	417	94.5	438	440	99.5	461	464
84.6	392	394	89.6	415	418	94.6	438	441	99.6	462	464
84.7	393	395	89.7	416	418	94.7	439	441	99.7	462	465
84.8	393	395	89.8	416	419	94.8	439	442	99.8	463	465
84.9	394	396	89.9	417	419	94.9	440	442	99.9	463	466

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUs	
	a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C		a 38°C	a 99°C
100.0	463	466	110.0	510	513	120.0	556	559	130.0	602	606
100.2	464	467	110.2	511	514	120.2	557	560	130.2	603	607
100.4	465	468	110.4	512	515	120.4	558	560	130.4	604	608
100.6	466	469	110.6	513	515	120.6	559	562	130.6	605	609
100.8	467	470	110.8	513	516	120.8	560	563	130.8	606	610
101.0	468	471	111.0	514	517	121.0	561	564	131.0	607	611
101.2	469	471	111.2	515	518	121.2	562	565	131.2	608	611
101.4	470	473	111.4	516	519	121.4	563	566	131.4	609	612
101.6	471	474	111.6	517	520	121.6	563	567	131.6	610	613
101.8	472	474	111.8	518	521	121.8	564	568	131.8	611	614
102.0	473	475	112.0	519	522	122.0	565	569	132.0	612	615
102.2	474	476	112.2	520	523	122.2	566	570	132.2	613	616
102.4	475	477	112.4	521	524	122.4	567	570	132.4	613	617
102.6	475	478	112.6	522	525	122.6	568	571	132.6	614	618
102.8	476	479	112.8	523	526	122.8	569	572	132.8	615	619
103.0	477	480	113.0	524	527	123.0	570	573	133.0	616	620
103.2	478	481	113.2	525	528	123.2	571	574	133.2	617	621
103.4	479	482	113.4	525	529	123.4	572	575	133.4	618	622
103.6	480	483	113.6	526	529	123.6	573	576	133.6	619	623
103.8	481	484	113.8	527	530	123.8	574	577	133.8	620	624
104.0	482	485	114.0	528	531	124.0	575	578	134.0	621	625
104.2	483	486	114.2	529	532	124.2	575	579	134.2	622	625
104.4	484	487	114.4	530	533	124.4	576	580	134.4	623	626
104.6	485	488	114.6	531	534	124.6	577	581	134.6	624	627
104.8	486	488	114.8	532	535	124.8	578	582	134.8	625	628
105.0	487	489	115.0	533	536	125.0	579	583	135.0	625	629
105.2	488	490	115.2	534	537	125.2	580	584	135.2	626	630
105.4	488	491	115.4	535	538	125.4	581	584	135.4	627	631
105.6	489	492	115.6	536	539	125.6	582	585	135.6	628	632
105.8	490	493	115.8	537	540	125.8	583	586	135.8	629	633
106.0	491	494	116.0	538	541	126.0	584	587	136.0	630	634
106.2	492	495	116.2	538	542	126.2	585	588	136.2	631	635
106.4	493	496	116.4	539	542	126.4	586	589	136.4	632	636
106.6	494	497	116.6	540	543	126.6	587	590	136.6	633	637
106.8	495	498	116.8	541	544	126.8	588	591	136.8	634	638
107.0	496	499	117.0	542	545	127.0	588	592	137.0	635	639
107.2	497	500	117.2	543	546	127.2	589	593	137.2	636	639
107.4	498	501	117.4	544	547	127.4	590	594	137.4	637	640
107.6	499	501	117.6	545	548	127.6	591	595	137.6	638	641
107.8	500	502	117.8	546	549	127.8	592	596	137.8	638	642
108.0	500	503	118.0	547	550	128.0	593	597	138.0	639	643
108.2	501	504	118.2	548	551	128.2	594	597	138.2	640	644
108.4	502	505	118.4	549	552	128.4	595	598	138.4	641	645
108.6	503	506	118.6	550	553	128.6	596	599	138.6	642	646
108.8	504	507	118.8	550	554	128.8	597	600	138.8	643	647
109.0	505	508	119.0	551	555	129.0	598	601	139.0	644	648
109.2	506	509	119.2	552	556	129.2	599	602	139.2	645	649
109.4	507	510	119.4	553	556	129.4	600	603	139.4	646	650
109.6	508	511	119.6	554	557	129.6	600	604	139.6	647	651
109.8	509	512	119.8	555	558	129.8	601	605	139.8	648	652

Tabla 1(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SU/s		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SU/s		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SU/s		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SU/s	
	cSt	a 38°C		cSt	a 38°C		cSt	a 38°C		cSt	a 38°C
140.0	649	150.0	695	160.0	741	170.0	788	180.0	834	190.0	880
140.2	650	150.2	696	160.2	742	170.2	789	180.2	835	190.2	881
140.4	650	150.4	697	160.4	743	170.4	789	180.4	836	190.4	882
140.6	651	150.6	698	160.6	744	170.6	790	180.6	837	190.6	883
140.8	652	150.8	699	160.8	745	170.8	791	180.8	838	190.8	884
141.0	653	151.0	700	161.0	746	171.0	792	181.0	839	191.0	885
141.2	654	151.2	701	161.2	747	171.2	793	181.2	839	191.2	886
141.4	655	151.4	701	161.4	748	171.4	794	181.4	840	191.4	887
141.6	656	151.6	702	161.6	749	171.6	795	181.6	841	191.6	888
141.8	657	151.8	703	161.8	750	171.8	796	181.8	842	191.8	889
142.0	658	152.0	704	162.0	751	172.0	797	182.0	843	192.0	889
142.2	659	152.2	705	162.2	751	172.2	798	182.2	844	192.2	890
142.4	660	152.4	706	162.4	752	172.4	799	182.4	845	192.4	891
142.6	661	152.6	707	162.6	753	172.6	800	182.6	846	192.6	892
142.8	662	152.8	708	162.8	754	172.8	801	182.8	847	192.8	893
143.0	663	153.0	709	163.0	755	1730.0	801	183.0	848	193.0	894
143.2	663	153.2	710	163.2	756	173.2	802	183.2	849	193.2	895
143.4	664	153.4	711	163.4	757	173.4	803	183.4	850	193.4	896
143.6	665	153.6	712	163.6	758	173.6	804	183.6	851	193.6	897
143.8	666	153.8	713	163.8	759	173.8	805	183.8	851	193.8	898
144.0	667	154.0	713	164.0	760	174.0	806	184.0	852	194.0	899
144.2	668	154.2	714	164.2	761	174.2	807	184.2	853	194.2	900
144.4	669	154.4	715	164.4	762	174.4	808	184.4	854	194.4	901
144.6	670	154.6	716	164.6	763	174.6	809	184.6	855	194.6	902
144.8	671	154.8	717	164.8	763	174.8	810	184.8	856	194.8	902
145.0	672	155.0	718	165.0	764	175.0	811	185.0	857	195.0	903
145.2	673	155.2	719	165.2	765	175.2	812	185.2	858	195.2	904
145.4	674	155.4	720	165.4	766	175.4	813	185.4	859	195.4	905
145.6	675	155.6	721	165.6	767	175.6	814	185.6	860	195.6	906
145.8	676	155.8	722	165.8	768	175.8	814	185.8	861	195.8	907
146.0	676	156.0	723	166.0	769	176.0	815	186.0	862	196.0	908
146.2	677	156.2	724	166.2	770	176.2	816	186.2	863	196.2	909
146.4	678	156.4	725	166.4	771	176.4	817	186.4	864	196.4	910
146.6	679	156.6	726	166.6	772	176.6	818	186.6	864	196.6	911
146.8	680	156.8	726	166.8	773	176.8	819	186.8	865	196.8	912
147.0	681	157.0	727	167.0	774	177.0	820	187.0	866	197.0	913
147.2	682	157.2	728	167.2	775	177.2	821	187.2	867	197.2	914
147.4	683	157.4	729	167.4	776	177.4	822	187.4	868	197.4	914
147.6	684	157.6	730	167.6	776	177.6	823	187.6	869	197.6	915
147.8	685	157.8	731	167.8	777	177.8	824	187.8	870	197.8	916
148.0	686	158.0	732	168.0	778	178.0	825	188.0	871	198.0	917
148.2	687	158.2	733	168.2	779	178.2	826	188.2	872	198.2	918
148.4	688	158.4	734	168.4	780	178.4	826	188.4	873	198.4	919
148.6	688	158.6	735	168.6	781	178.6	827	188.6	874	198.6	920
148.8	689	158.8	736	168.8	782	178.8	828	188.8	875	198.8	921
149.0	690	159.0	737	169.0	783	179.0	829	189.0	876	199.0	922
149.2	691	159.2	738	169.2	784	179.2	830	189.2	877	199.2	923
149.4	692	159.4	738	169.4	785	179.4	831	189.4	877	199.4	924
149.6	693	159.6	739	169.6	786	179.6	832	189.6	878	199.6	925
149.8	694	159.8	740	169.8	787	179.8	833	189.8	879	199.8	926

Tabla I (cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal		Equiv. Viscos. Saybolt Universal		Equiv. Viscos. Saybolt Universal		Equiv. Viscos. Saybolt Universal		Equiv. Viscos. Saybolt Universal		
	cSt	a 38°C	cSt	a 38°C	cSt	a 38°C	cSt	a 38°C	cSt	a 38°C	
200.0	927	225.0	1042	250.0	1158	275.0	1274	300.0	1390	325.0	1506
200.5	929	225.5	1045	250.5	1160	275.5	1276	300.5	1392	325.5	1508
201.0	931	226.0	1047	251.0	1163	276.0	1279	301.0	1394	326.0	1510
201.5	933	226.5	1049	251.5	1165	276.5	1281	301.5	1397	326.5	1512
202.0	936	227.0	1052	252.0	1167	277.0	1283	302.0	1399	327.0	1515
202.5	938	227.5	1054	252.5	1170	277.5	1286	302.5	1401	327.5	1517
203.0	940	228.0	1086	253.0	1172	278.0	1288	303.0	1404	328.0	1519
203.5	943	228.5	1059	253.5	1174	278.5	1290	303.5	1406	328.5	1522
204.0	945	229.0	1061	254.0	1177	279.0	1292	304.0	1408	329.0	1524
204.5	947	229.5	1063	254.5	1179	279.5	1295	304.5	1411	329.5	1526
205.0	950	230.0	1065	255.0	1181	280.0	1297	305.0	1413	330.0	1529
205.5	952	230.5	1068	255.5	1184	280.5	1299	305.5	1415	330.5	1531
206.0	954	231.0	1070	256.0	1186	281.0	1302	306.0	1418	331.0	1533
206.5	957	231.5	1072	256.5	1188	281.5	1304	306.5	1420	331.5	1536
207.0	959	232.0	1075	257.0	1191	282.0	1306	307.0	1422	332.0	1538
207.5	961	232.5	1077	257.5	1193	282.5	1309	307.5	1424	332.5	1540
208.0	964	233.0	1079	258.0	1195	283.0	1311	308.0	1427	333.0	1543
208.5	966	233.5	1082	258.5	1198	283.5	1313	308.5	1429	333.5	1545
209.0	968	234.0	1084	259.0	1200	284.0	1316	309.0	1431	334.0	1547
209.5	971	234.5	1086	259.5	1202	284.5	1318	309.5	1434	334.5	1550
210.0	973	235.0	1089	260.0	1204	285.0	1320	310.0	1436	335.0	1552
210.5	975	235.5	1091	260.5	1207	285.5	1323	310.5	1438	335.5	1554
211.0	977	236.0	1093	261.0	1209	286.0	1325	311.0	1441	336.0	1557
211.5	980	236.5	1096	261.5	1211	286.5	1327	311.5	1443	336.5	1559
212.0	982	237.0	1098	262.0	1214	287.0	1330	312.0	1445	337.0	1561
212.5	984	237.5	1100	262.5	1216	287.5	1332	312.5	1448	337.5	1563
213.0	987	238.0	1103	263.0	1218	288.0	1334	313.0	1450	338.0	1566
213.5	989	238.5	1105	263.5	1221	288.5	1336	313.5	1452	338.5	1568
214.0	991	239.0	1107	264.0	1223	289.0	1339	314.0	1455	339.0	1570
214.5	994	239.5	1109	264.5	1225	289.5	1341	314.5	1457	339.5	1573
215.0	996	240.0	1112	265.0	1228	290.0	1343	315.0	1459	340.0	1575
215.5	998	240.5	1114	265.5	1230	290.5	1346	315.5	1462	340.5	1577
216.0	1001	241.0	1116	266.0	1232	291.0	1348	316.0	1464	341.0	1580
216.5	1003	241.5	1119	266.5	1235	291.5	1350	316.5	1466	341.5	1582
217.0	1005	242.0	1121	267.0	1237	292.0	1353	317.0	1468	342.0	1584
217.5	1008	242.5	1123	267.5	1239	292.5	1355	317.5	1471	342.5	1587
218.0	1010	243.0	1126	268.0	1242	293.0	1357	318.0	1473	343.0	1589
218.5	1012	243.5	1128	268.5	1244	293.5	1360	318.5	1475	343.5	1591
219.0	1015	244.0	1130	269.0	1246	294.0	1362	319.0	1478	344.0	1594
219.5	1017	244.5	1133	269.5	1248	294.5	1364	319.5	1480	344.5	1596
220.0	1019	245.0	1135	270.0	1251	295.0	1367	320.0	1482	345.0	1598
220.5	1021	245.5	1137	270.5	1253	295.5	1369	320.5	1485	345.5	1601
221.0	1024	246.0	1140	271.0	1255	296.0	1371	321.0	1487	346.0	1603
221.5	1026	246.5	1142	271.5	1258	296.5	1374	321.5	1489	346.5	1605
222.0	1028	247.0	1144	272.0	1260	297.0	1376	322.0	1492	347.0	1607
222.5	1031	247.5	1147	272.5	1262	297.5	1378	322.5	1494	347.5	1610
223.0	1033	248.0	1149	273.0	1265	298.0	1380	323.0	1496	348.0	1612
223.5	1035	248.5	1151	273.5	1267	298.5	1383	323.5	1499	348.5	1614
224.0	1038	249.0	1154	274.0	1269	299.0	1385	324.0	1501	349.0	1617
224.5	1040	249.5	1156	274.5	1272	299.5	1387	324.5	1503	349.5	1619

Tabla I(cont.). Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal

Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SUs		Viscosidad Cinemática	Equiv. Viscos. Saybolt Universal SUs	
	cSt	a 38°C		cSt	a 38°C		cSt	a 38°C		cSt	a 38°C
350.0	1621	375.0	1737	400.0	1853	425.0	1969	450.0	2085	475.0	2200
350.5	1624	375.5	1739	400.5	1855	425.5	1971	450.5	2087	475.5	2203
351.0	1626	376.0	1742	401.0	1858	426.0	1973	451.0	2089	476.0	2205
351.5	1628	376.5	1744	401.5	1860	426.5	1976	451.5	2092	476.5	2207
352.0	1631	377.0	1746	402.0	1862	427.0	1978	452.0	2094	477.0	2210
352.5	1633	377.5	1749	402.5	1865	427.5	1980	452.5	2096	477.5	2212
353.0	1635	378.0	1751	403.0	1867	428.0	1983	453.0	2098	478.0	2214
353.5	1638	378.5	1753	403.5	1869	428.5	1985	453.5	2101	478.5	2217
354.0	1640	379.0	1756	404.0	1872	429.0	1987	454.0	2103	479.0	2219
354.5	1642	379.5	1758	404.5	1874	429.5	1990	454.5	2105	479.5	2221
355.0	1645	380.0	1760	405.0	1876	430.0	1992	455.0	2108	480.0	2224
355.5	1647	380.5	1763	405.5	1878	430.5	1994	455.5	2110	480.5	2226
356.0	1648	381.0	1765	406.0	1881	431.0	1997	456.0	2112	481.0	2228
356.5	1651	381.5	1767	406.5	1883	431.5	1999	456.5	2115	481.5	2231
357.0	1654	382.0	1770	407.0	1885	432.0	2001	457.0	2117	482.0	2233
357.5	1656	382.5	1772	407.5	1888	432.5	2004	457.5	2119	482.5	2235
358.0	1658	383.0	1774	408.0	1890	433.0	2006	458.0	2122	483.0	2237
358.5	1661	383.5	1777	408.5	1892	433.5	2008	458.5	2124	483.5	2240
359.0	1663	384.0	1779	409.0	1895	434.0	2010	459.0	2126	484.0	2242
359.5	1665	384.5	1781	409.5	1897	434.5	2013	459.5	2129	484.5	2244
360.0	1668	385.0	1783	410.0	1899	435.0	2015	460.0	2131	485.0	2247
360.5	1670	385.5	1786	410.5	1902	435.5	2017	460.5	2133	485.5	2249
361.0	1672	386.0	1788	411.0	1904	436.0	2020	461.0	2136	486.0	2251
361.5	1675	386.5	1790	411.5	1906	436.5	2022	461.5	2138	486.5	2254
362.0	1677	387.0	1793	412.0	1909	437.0	2024	462.0	2140	487.0	2256
362.5	1679	387.5	1795	412.5	1911	437.5	2027	462.5	2142	487.5	2258
363.0	1682	388.0	1797	413.0	1913	438.0	2029	463.0	2145	488.0	2261
363.5	1684	388.5	1800	413.5	1916	438.5	2031	463.5	2147	488.5	2263
364.0	1686	389.0	1802	414.0	1918	439.0	2034	464.0	2149	489.0	2265
364.5	1689	389.5	1804	414.5	1920	439.5	2036	464.5	2152	489.5	2268
365.0	1691	390.0	1807	415.0	1922	440.0	2038	465.0	2154	490.0	2270
365.5	1693	390.5	1809	415.5	1925	440.5	2041	465.5	2156	490.5	2272
366.0	1695	391.0	1811	416.0	1927	441.0	2043	466.0	2159	491.0	2275
366.5	1698	391.5	1814	416.5	1929	441.5	2045	466.5	2161	491.5	2277
367.0	1700	392.0	1816	417.0	1932	442.0	2048	467.0	2163	492.0	2279
367.5	1702	392.5	1818	417.5	1934	442.5	2050	467.5	2166	492.5	2281
368.0	1705	393.0	1821	418.0	1936	443.0	2052	468.0	2168	493.0	2284
368.5	1707	393.5	1823	418.5	1939	443.5	2054	468.5	2170	493.5	2286
369.0	1709	394.0	1825	419.0	1941	444.0	2057	469.0	2173	494.0	2288
369.5	1712	394.5	1827	419.5	1943	444.5	2059	469.5	2175	494.5	2291
370.0	1714	395.0	1830	420.0	1946	445.0	2061	470.0	2177	495.0	2293
370.5	1716	395.5	1832	420.5	1948	445.5	2064	470.5	2180	495.5	2295
371.0	1719	396.0	1834	421.0	1950	446.0	2066	471.0	2182	496.0	2298
371.5	1721	396.5	1837	421.5	1953	446.5	2068	471.5	2184	496.5	2300
372.0	1723	397.0	1839	422.0	1955	447.0	2071	472.0	2187	497.0	2302
372.5	1726	397.5	1841	422.5	1957	447.5	2073	472.5	2189	497.5	2305
373.0	1728	398.0	1844	423.0	1960	448.0	2075	473.0	2191	498.0	2307
373.5	1730	398.5	1846	423.5	1962	448.5	2078	473.5	2193	498.5	2309
374.0	1733	399.0	1848	424.0	1964	449.0	2080	474.0	2196	499.0	2312
374.5	1735	399.5	1851	424.5	1966	449.5	2082	474.5	2198	499.5	2314

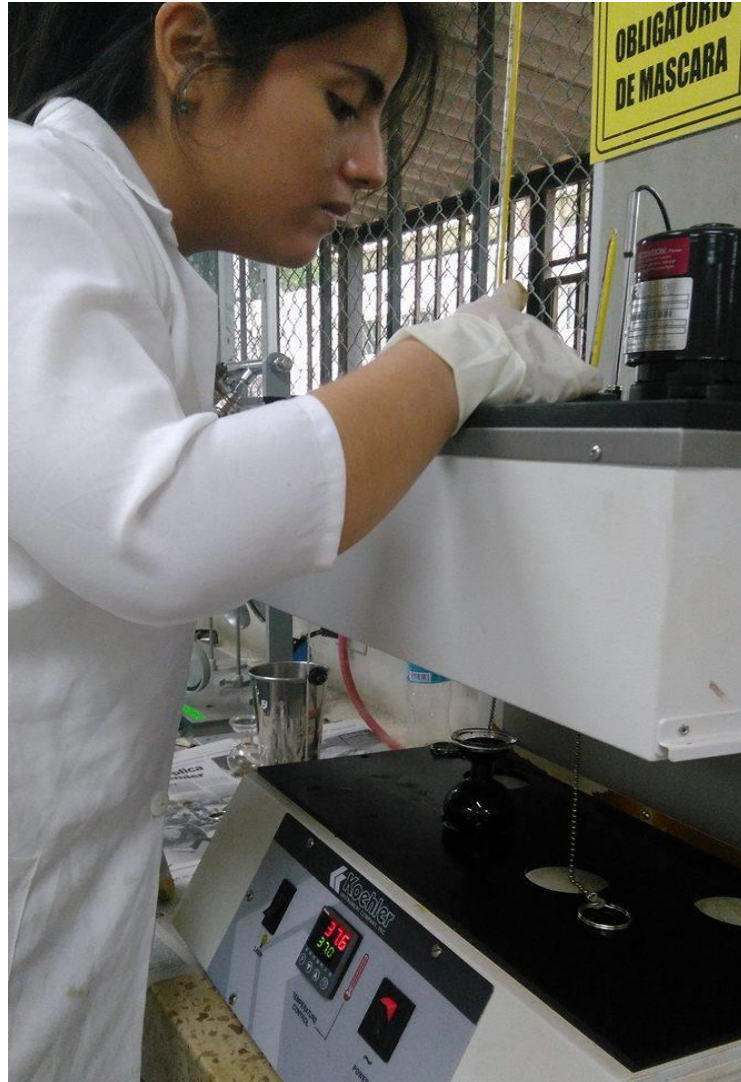
## ANEXO B

### PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO DE SAYBOLT

**Figura B-1.** Preparación de las mezclas para medición de viscosidad.



**Figura B-2.** Medición de temperatura de la prueba.





**Figura B-3.** Colocación de la muestra en el viscosímetro de saybolt..



**Figura B-4.** Medición de la viscosidad de saybolt.



## ANEXO C

### ALGORITMO EN LENGUAJE DE MATLAB

**C-1:** Código de programación para el software MatLab.

```
clear all;
clc
datos={'Número de Datos de % de Volumenes Livianos de la MEZCLA:', 'Número
de Datos de Temperaturas ':'};
valores={'0','0'};
s=inputdlg(datos,'# DE DATOS',1,valores);
n=str2num(s{1});
m=str2num(s{2});

datos2={'Porcentajes de crudo liviano VI[%] ':'};
valores2={''};
s2=inputdlg(datos2,'%VI=100-%Vp',n,valores2);
Vlp=[str2num(s2{1})];

disp('RANGOS: Temperatura [50-300 0F] ; API liviano [31.1-48.1] ; API pesado
[20.1-31]');
APIlmin=31.1;
APIlmax=48.1;
APIpmin=20.1;
APIpmax=31; % PUEDEN CAMBIAR ESTOS RANGOS
```

```

Tomin=50;
Tomax=300;
VUti=[Vlp];
U=[]; %vector variables de viscosidad
for j=1:m

m=0;
    while m==0
        datos1={'Temperatura To [oF] ':'Gravedad API Liviano
:'Gravedad API Pesado ':'};
        valores1={'0','0','0'};
        s1=inputdlg(datos1,'PARÁMETROS',1,valores1);
        To=str2num(s1{1});
        APIl=str2num(s1{2});
        APIp=str2num(s1{3});
        if (APIl>=APIlmin) && (APIl<=APIlmax) && (APIp>=APIpmin)
&& (APIp<=APIpmax) && (To>=Tomin) && (To<=Tomax)
            m=m+1;
        else
            if (APIl>=APIlmax) || (APIl<=APIlmin)
                disp('VALORES DE API LIVIANO FUERA DE RANGO');
            end
            if (APIp>=APIpmax) || (APIp<=APIpmin)
                disp('VALORES DE API PESADO FUERA DE RANGO');
            end
            if (To>=Tomax) || (To<=Tomin)

```

```

disp('VALORES DE TEMPERATURA FUERA DE RANGO');
end
end
end

for i=1:n

    a=10.313*(log10(To))-36.447;
    up=3.141e10*(To)^(-3.444)*(log10(APIp))^a;
    ul=3.141e10*(To)^(-3.444)*(log10(APII))^a;

    Vp=1-Vlp(i,1)/100;
    Vl=Vlp(i,1)/100;
    Inu=Vl*log(ul)+Vp*log(up);
    u=2.71828^Inu;
    U=[U;u];

end
VUti=[VUti U(1+(j-1)*n:j*n)];
end
disp('%V U(T1) ... U(Ti) ... U(Tm)');
disp(VUti);
plot(VUti(:,1),VUti(:,2),'r',VUti(:,1),VUti(:,3),'g',VUti(:,1),VUti(:,4),'y')
grid on
title('FRACCION DE VOLUMEN VS VISCOSIDAD DE LA MEZCLA');
ylabel('VISCOSIDAD DE LA MEZCLA');
xlabel('FRACCION DE VOLUMEN LIVIANO')

```

# BIBLIOGRAFÍA

Ahemed, T. (1946). *HYDROCARBON PHASE BEHAVIOR*. California, Estados Unidos: Gulf Publishing Company.

Al-Maamari, R.S., Vakili-Nezhaad G. and Vatani, M. (2015). Experimental and modeling investigation of the viscosity of crude oil binary blends: new models based on the genetic algorithm method. *The Journal of Engineering Research*, Vol. (11), Pp. 81-91.

Alvarado, D & Banzér, C. (2002). *Recuperación Térmica de Petróleo*. Venezuela: Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/56668472/Alvarado-D-A-and-Banzer-C-Recuperacion-Termica-de-Petroleo>.

Gao, Y., Li, K. (2012). New models for calculating the viscosity of mixed oil. *Elsevier FUEL* 95, Vol. (95), 431-437. doi: 10.1016/j.fuel.2011.12.043

Hou ,J., Li X., Sui H.(2015). The optimization and prediction of properties for crude oil blending .Elsevier, Vol.(76), Pp. 21-26. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/compchemeng](http://www.elsevier.com/locate/compchemeng).

Mora, J. (2007). Efecto de la temperatura en la variación de la viscosidad de un aceite degradado por fritura en inmersión de papas (Tesis de Pregrado). Universidad de Pamplona, Colombia.

Mott, R. 2006. Mecánica de Fluidos Sexta Edición. México D.F, México: Pearson Educación.

Pazmiño, K. (2013). Validación de los métodos de ensayo de sal en crudo, sedimentos por extracción y azufre en el petróleo crudo y sus derivados (Tesis de Pregrado). Universidad Central de Ecuador, Quito.

Rodríguez, L. (2011). Análisis Numérico Básico un enfoque algorítmico con el soporte de Matlab. Guayaquil, Ecuador.

Romero, A., Quiroga, C. (2010). Desarrollo de un modelo computacional para el ajuste de viscosidad de mezclas de crudo pesado y/o extrapesado con

disolventes para transporte por oleoducto (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Ruano, R. (2013). Grados API y gravedad específica de los hidrocarburos-combustibles líquidos. Recuperado de [http://www.energianow.com/Articulos/api\\_gravespecifica\\_correc.xtempdocx.pdf](http://www.energianow.com/Articulos/api_gravespecifica_correc.xtempdocx.pdf)

Villarreal, M. (2002). Petróleo: Clasificación y Caracterización. Ecuador: Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/590/1/CAP1.pdf>

White, F. 2003. Mecánica de Fluidos Quinta Edición. Madrid, España: McGraw Hill.