



## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN CRUDO DE ALTA VISCOSIDAD

<sup>1</sup>Zamora García Rojas Deneb\*, <sup>1</sup>Gallardo Rivas Nohra Violeta, <sup>2</sup>Mendoza de la Cruz José Luis, <sup>1</sup>Brachetti Sibaja Silvia Beatriz, <sup>1</sup>Páramo García Ulises  
<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Madero. Centro de Investigación en Petroquímica; <sup>2</sup> Instituto Mexicano del Petróleo.  
zamora\_deneb6@hotmail.com\*, nohvigari@itcm.edu.mx, ilmendoz@imp.mx

---

### RESUMEN

El petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos de estructura, pesos moleculares y propiedades diferentes. Debido a esto, es necesaria la caracterización físico-química, que permita determinar sus propiedades para obtener el mejor rendimiento y comprensión del comportamiento del mismo en cada etapa de su manejo. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades físico-químicas principales de un crudo, mediante procedimientos estandarizados por la ASTM® (D7169-11, D3279-97, D1298-12b) que involucran el uso de disolventes afines a la polaridad de la mezcla y en algunos casos el uso directo del crudo para su análisis. De acuerdo a la caracterización, el crudo estudiado presenta una densidad de 0.9698 g/cm<sup>3</sup>, gravedad específica de 0.9696 y 14.40°API, en cuanto a sus fracciones principales contiene, saturados 27.48%W, aromáticos 36.92%W, resinas 14.50%W y 21.08%W de asfaltenos, predominando los componentes de cadenas largas desde C10 hasta C30; el crudo presenta tamaños de agregados promedio de 52 nm con una distribución unimodal monodispersa. Se tiene además un valor medio de viscosidad de 27,000 cP y un comportamiento no-newtoniano a bajas temperaturas y velocidades de corte, a medida que aumentan estos parámetros se tiende a un comportamiento newtoniano.

**Palabras clave:** Petróleo, análisis SARA, tamaño de agregado, viscosidad.

---

### ABSTRACT

Petroleum is a mixture of organic compounds of varied structure and different molecular weights, so they present variation in their properties. Due to this, it is necessary the physical-chemical characterization, which allows to determine its composition and characteristics to achieve the best performance of the product and the understanding of its behavior in each stage that implies its management. The aim of this work was to study a crude oil to determine its main physical-chemical properties, through procedures standardized by ASTM® (D7169-11, D3279-97, D1298-12b) that involve the use of solvents related to the polarity of the mixture and in some cases the direct use of crude oil for analysis. According to the characterization, the crude studied has a density of 0.9698 g/cm<sup>3</sup>, specific gravity of 0.9696 and 14.40 °API, in terms of its main fractions contains saturated 27.48%W, aromatics 36.92%W, resins 14.50%W and 21.08%W, predominantly long chain components from C10 to C30; crude oil has an average aggregate size of 52 nm with a monodisperse unimodal distribution. The sample studied is characterized by a mean viscosity value of 27,000 cP with non-Newtonian behavior at low temperatures and lower shear rates, as these parameters increase the sample tends to Newtonian behavior.

**Keywords:** Oil, SARA analysis, aggregate size, viscosity.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Petróleo.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, conformados por átomos de carbono e hidrógeno; además de heterocompuestos que contienen átomos de nitrógeno, azufre, oxígeno; así como algunos metales como níquel, vanadio y cromo. Es un compuesto de origen orgánico, menos denso que el agua y de olor fuerte [1].

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran al petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes [2].

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su gravedad API (parámetro internacional del American Petroleum Institute), que diferencia las calidades del crudo [3]. La clasificación del petróleo de acuerdo a su gravedad API se muestra en la Tabla 1 en donde se pueden observar los valores del crudo dependiendo su clasificación.

Tabla 1

Tabla 1. Clasificación del crudo.

Crudo	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Gravedad (°API)
Extrapesado	>1.0	<10
Pesado	1.0 – 0.92	10 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Superligero	<0.83	>39

Fuente: Langevin D., *Oil gas sci. technol.*, 59, 5, (2004), 511-521.

### 1.2. Propiedades físico-químicas de un crudo.

Una propiedad física se puede medir y observar sin que la sustancia cambie su identidad o composición, también existen las propiedades químicas, las cuales se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, una

transformación de su estructura interna, convirtiéndose en otra sustancia nueva. Dichos cambios químicos, pueden ser reversibles o irreversibles. Dentro de las propiedades importantes de los crudos están la densidad, la viscosidad, el punto de fusión y de ebullición, la dureza, maleabilidad, color y olor. Si bien la densidad del petróleo es importante para evaluar el valor del recurso y estimar el rendimiento, costos de refinación, la propiedad del fluido que más afecta la producibilidad y la recuperación es la viscosidad del petróleo. Cuanto más viscoso es el petróleo, más difícil resulta extraerlo, transportarlo y procesarlo.

#### 1.2.1. Densidad.

La densidad es una propiedad general de todas las sustancias. No obstante, su valor es específico para cada sustancia, lo cual permite identificarla o diferenciarla de otras.

La densidad es una propiedad intensiva y su valor depende de la temperatura y de la presión. Se define como la masa de una sustancia presente en la unidad de volumen (ecuación 1) [4].

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

#### 1.2.2. Gravedad específica.

Es la relación existente entre la densidad absoluta de una sustancia y la densidad de una sustancia de referencia, donde esta última para el caso de los líquidos es el agua y para los gases es el aire. La gravedad específica no tiene unidades, sirve para denotar cuántas veces es más pesada o más densa una sustancia con respecto al agua [5].

#### 1.2.3. Gravedad API.

La gravedad API, de sus siglas en inglés (American Petroleum Institute), es una medida de cuánto pesa un producto de petróleo en relación al agua. La gravedad API es también usada para comparar



densidades de fracciones extraídas del petróleo. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades (ecuación 2) [6]. La fórmula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{GE a } 15^{\circ}\text{C}} - 131.5 \quad (2)$$

Donde GE es la gravedad específica.

#### 1.2.4. Análisis composicional por cromatografía de gases.

La cromatografía de gases es una técnica analítica empleada para determinar la composición de una mezcla a estudiar. Debido a que el crudo está formado por una mezcla de diferentes compuestos no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de hidrocarburos, es por ello la importancia de la aplicación de esta técnica que permita determinar el porcentaje de estos componentes [7].

#### 1.2.5. Análisis SARA.

Es posible agrupar los constituyentes del petróleo en cuatro grupos principales, dos de ellos se refieren al arreglo estructural de los átomos de carbono en la molécula (cadena abierta y compuestos cíclicos o anillos) y las dos restantes según el tipo de enlace que existe entre los átomos de carbono. De acuerdo al porcentaje de cada fracción se determina el tipo de crudo que se está estudiando. Las cuatro fracciones que componen a un crudo son las siguientes:

- **Saturados:** Componentes no polares, se clasifican en n-parafinas, isoparafinas y naftenos.
- **Aromáticos:** Contienen en su estructura uno o más anillos aromáticos similares al benceno.
- **Resinas:** Precursores de los asfaltenos, actúan como estabilizadores de la dispersión ya

que los rodea con su estructura polar.

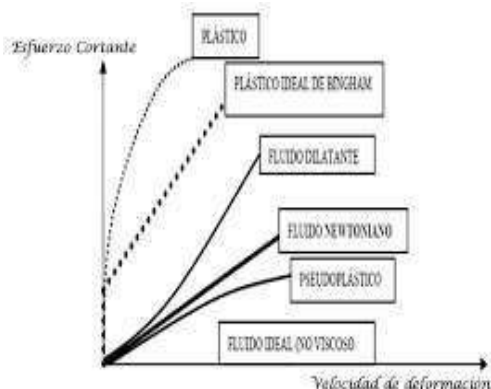
- **Asfaltenos:** Compuestos aromáticos policíclicos sólidos solubles en disolventes aromáticos [8].

#### 1.2.6. Tamaño de agregado y distribución.

Los aceites pesados generalmente muestran un mayor contenido de asfaltenos y resinas que los aceites convencionales, lo que afecta directamente los procesos de recuperación, transporte y refinación. Las propiedades coloidales de los asfaltenos y las resinas han sido objeto de un intenso debate en la literatura debido al efecto de la agregación de asfaltenos en diferentes solventes y por consiguiente su efecto a lo largo de cada proceso que involucre su manejo, esto se lleva a cabo mediante la técnica de dispersión dinámica de luz [9].

#### 1.2.7. Viscosidad.

La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a ser deformado por un esfuerzo de cizallamiento, normalmente conocido como comportamiento de fluidez o resistencia a la caída y se describe como la resistencia interna de un fluido a circular o fluir y sin embargo debe ser una medida del rozamiento o fricción del fluido. La viscosidad, se obtiene por varios métodos y se le designa por varios valores de medición. Es muy importante el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los crudos en los procesos que requieran el manejo de los mismos [10]. Dependiendo de la viscosidad de los fluidos se clasifican de acuerdo a la Figura 1, relacionando los parámetros de velocidad de deformación y esfuerzo cortante con la viscosidad [10].



**Figura 1.** Curvas características del comportamiento de los fluidos.

Fuente: Filho D.C. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 396, 20, (2012), 208-221.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización del crudo se llevó a cabo de acuerdo a diferentes normas ASTM (American Society for Testing and Materials) mostrando en este apartado la metodología usada para el desarrollo de este trabajo.

### 2.1. Determinación de la densidad, gravedad específica y °API.

La determinación de estas propiedades se llevó a cabo con el densímetro DMA™ 4200M introduciendo en el equipo aproximadamente 3 mL del crudo y estableciendo la temperatura de 15°C como lo establece la norma ASTM D1298-12b.

### 2.2. Análisis SARA.

La caracterización SARA del crudo se llevó a cabo mediante la separación en primer lugar de los asfaltenos de acuerdo a la norma ASTM D3279-97, una vez recuperados los asfaltenos el residuo de esta separación recibe el nombre de maltenos en los cuales se encuentran el resto de las fracciones las cuales son saturados, aromáticos y resinas. La separación de estas fracciones se determinó por medio de la norma ASTM D4124-97 que establece la técnica de

cromatografía líquida por columna abierta en la cual la columna se empaqueta con sílica gel y alúmina grado cromatográfico posteriormente se selecciona un eluyente a fin de separar. Al concluir la técnica se determinan los porcentajes de cada fracción del crudo estudiado.

### 2.3. Determinación composicional por cromatografía de gases.

El análisis composicional del crudo se llevó a cabo mediante la norma ASTM D7169-11, se preparó 1 mL de muestra del crudo diluido en 1-hexano a continuación se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent 6890 series y se procedió al estudio.

### 2.4. Determinación del tamaño de aglomerado y distribución.

La determinación del tamaño promedio de gota y distribución del crudo se realizó con un analizador de dispersión de luz, Malvern Instrument Zetasizer, Modelo Nano ZS. Para el desarrollo de la prueba se preparó una solución problema a 100 ppm, pesando 0.01 g de crudo y aforando a 100 mL con ciclohexano. Una vez preparada la solución se tomaron aproximadamente 2 mL, éstos se vierten en la celda del equipo y se procede al análisis.

### 2.5. Determinación de la viscosidad.

La viscosidad del crudo se determinó en un reómetro Anton Paar Modelo MCR-501 con una geometría de cilindros concéntricos CC27 colocando aproximadamente 19 mL del crudo en el equipo. El análisis se llevó a cabo en un intervalo de temperatura de 30 a 60°C y en un rango de velocidad de corte de 0.1 a 100 s<sup>-1</sup>.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



### 3.1. Determinación de la densidad, gravedad específica y °API.

A continuación en la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos resultantes de la determinación de la densidad, gravedad específica y °API del crudo estudiado.

**Tabla 1**

*Tabla 1. Parámetros característicos del crudo estudiado.*

Parámetro	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.9698
Gravedad específica	0.9696
°API	14.40

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Con los resultados anteriores se determina que el crudo estudiado es un crudo pesado por tener éstos valores dentro de esa clasificación.

### 3.2. Análisis SARA.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la separación fraccional del crudo.

**Tabla 2**

*Tabla 2. Composición SARA.*

Fracción	%W
Saturados	27.48
Aromáticos	36.92
Resinas	14.50
Asfaltenos	21.08

*Fuente: Elaborado por el autor.*

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla anterior se observa que con base en el %W el crudo analizado es del tipo nafténico.

### 3.3. Determinación composicional por cromatografía de gases.

El interés de conocer la composición detallada de la cromatografía de hidrocarburos o mezcla reside en que muchas propiedades globales resultan aditivas, de modo que pueden evaluarse

Kingsville, Texas. USA.

adecuadamente conociendo las propiedades de los componentes individuales y su proporción dentro de la mezcla. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de este estudio, mostrando el valor composicional del crudo estudiado.

**Tabla 3**

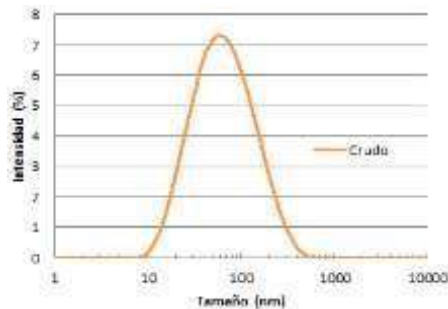
*Tabla 3. Análisis composicional de la muestra de crudo pesado.*

Componente	% Masa	% Mol
C <sub>3</sub>	0.01	0.06
iC <sub>4</sub>	0.02	0.11
C <sub>4</sub>	0.06	0.36
iC <sub>5</sub>	0.002	0.01
C <sub>5</sub>	0.33	1.70
C <sub>6</sub>	0.91	4.02
C <sub>7</sub>	1.38	5.19
C <sub>8</sub>	4.29	14.22
C <sub>9</sub>	0.89	2.58
C <sub>10</sub>	1.26	3.49
C <sub>11</sub> - C <sub>15</sub>	4.420	9.70
C <sub>16</sub> - C <sub>20</sub>	2.71	4.09
C <sub>21</sub> - C <sub>29</sub>	2.01	2.27
C <sub>30</sub>	81.63	52.20

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### 3.4. Determinación del tamaño de aglomerado y distribución.

El estudio del tamaño promedio de gota y de la distribución de tamaño promedio de gota es de suma importancia en el estudio de las propiedades del crudo ya que ejerce gran influencia sobre las características y propiedades que pertenecen al crudo. En la Figura 2 se muestra los resultados obtenidos de este análisis.



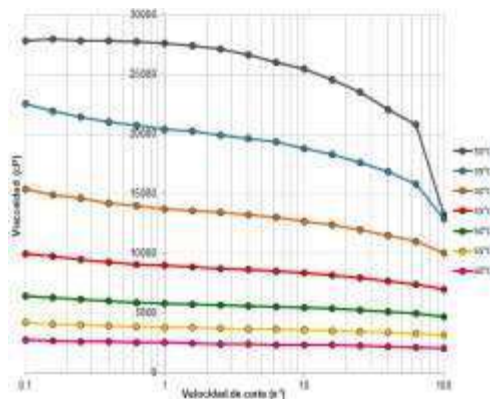
**Figura 2.** Distribución de aglomerados presentes en el crudo.

Fuente: Elaborado por el autor.

De acuerdo a este estudio el crudo analizado tiene un tamaño de agregado de 52 nm con una distribución monodispersa debido a que presenta un solo punto máximo en la curva de distribución del mismo.

### 3.5. Determinación de la viscosidad.

Como resultados del estudio de viscosidad se presenta la Figura 3 con el comportamiento que presenta el crudo bajo las condiciones establecidas en la metodología.



**Figura 3.** Comportamiento reológico del crudo analizado.

Fuente: Elaborado por el autor.

De la figura anterior se observa que el crudo a bajas temperaturas presenta un comportamiento no-newtoniano y a medida que esta aumenta las curvas tienden a un comportamiento newtoniano lo que se relaciona con el fácil manejo del mismo a esas condiciones de temperatura

y velocidad de corte. El crudo estudiado presenta un valor medio de viscosidad de 27 000 cP por lo que se trata de un crudopesado de alta viscosidad.

## 4. CONCLUSIONES

En la industria petrolera es muy importante conocer la composición y propiedades de los crudos, ya que esta varía dependiendo de su origen. Resulta importante y provechoso el estudio de cada crudo para evaluar las condiciones para sus diferentes aplicaciones en la industria petrolera. Antes de llevar a cabo el proceso industrial es preciso determinar en el laboratorio la composición de cada fracción y características fisico-químicas para su adecuación en cada proceso que involucre el manejo de crudos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al TecNM por el apoyo financiero al proyecto clave 5090.19-P y a CONACyT por el apoyo del proyecto Desarrollo científico para atender problemas nacionales. Al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y al Instituto Mexicano del Petróleo por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS

1. Castro L.V. and Vázquez F., *Fraccionaland Characterization of Mexican Crude Oils*, Energy & Fuels 2009, 23, 3, (2009), 1603-1609.
2. Martínez R., Mosqueira M.L., Zapata B., Mar E., Bernal C., Aburto J. *Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline*, J. Petrol. Sci. Eng., 75, 1, (2011), 274-282.
3. Langevin D., Poteau S., Hénaut I. and Argillier J.F., *Crude Oil Emulsion Properties and their Application to Heavy Oil Transportation*, Oil gas sci. technol., 59, 5, (2004), 511-521.
4. Wong S.F., Lim J.S., Dol S.S., *Crude oil emulsion: A review on formation, classification and stability of water in Oil emulsions*, J. Petrol. Sci. Eng., 135, 1, (2015), 498-504



5. M. Ñurainia, H.N. Abdurahmanab y A.M.S. Kholijaha, *Effect of chemical breaking agents on water-in-crude oil emulsion system*, Int. J. Chem. Environ. Engin., 2, 4, (2011), 250-254.H.
6. I. Velásquez y J.C. Pereira, *Emulsiones de agua en crudo*, Aspectos generales, Rev. Ing. UC, 21, 3, (2014), 45-54.
7. Kum H., García J., Morales A., Caprioli P.L., Galiasso R.E., Salazar A.A., *Hidrotratamiento de crudos pesados y residuos*, Revista técnica INTEVEP, 5,1, (1985), 17-27.
8. Tineo J.A., *Efecto de solventes y temperatura sobre la viscosidad de algunos crudos de petróleos mexicanos*, Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México,(1978), 27-36.
9. Banda E., *Physicochemical characterization of heavy oil and the precipitated asphaltene fraction using UV spectroscopy and dynamic light scattering*, J. Eng. Technol., 6, 1, (2016), 49-58.
10. Zaki N., Butz T., Kessel D., *Rheology, particle size distribution and asphaltene deposition of viscous asphaltic crude oil- in-water emulsions for pipeline transportation*, J. Eng. Technol., 19, 3&4, (2001), 4-9.
11. Filho D.C., Ramalho J.B.V., Spinelli L.S., Lucas E.F., *Aging of in water in crude oil emulsions: Effect on water content, droplet size distribution, dynamic viscosity and stability*, Colloids Surf A Physicochem Eng Asp, 396, 20, (2012), 208-221.