



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E  
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

## **“ESTABILIZACIÓN DE EMULSION CRUDO PESADO-AGUA CON PARTÍCULAS DE CARBONO Y EMULSIFICANTE NO IÓNICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA  
PAOLA ITZEL SUÁREZ ESTRADA

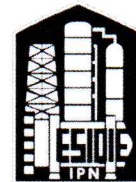
ASESOR  
DOCTOR E INVESTIGADOR  
MANUEL DE JESÚS MACIAS HERNÁNDEZ



CIUDAD DE MÉXICO, 2018.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E  
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad México del día **22** del mes de **junio** del año **2018**, el/la que suscribe: **Paola Itzel Suárez Estrada** estudiante del Programa de: **Ingeniería Química Industrial** con número de Boleta: **2012320859**, manifiesta que es autor/a intelectual del presente trabajo escrito, por la opción: **Tesis Individual** bajo la dirección del profesor/a **Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández** ceden los derechos del trabajo intitulado **Estabilización de emulsión crudo pesado-agua con partículas de carbón y emulsificante no iónico**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **paosestrada@gmail.com** Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

Paola Itzel Suárez Estrada

Nombre y Firma del/la estudiante

Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández

Nombre y Firma del profesor/a

SEP

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas  
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos".  
"60 Aniversario del CECyT 14 "Luis Enrique Erro".  
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones".  
"50 Aniversario de la COFAA-IPN".  
"30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología".

T-138-17

Ciudad de México, 13 de diciembre 2017.

A la C. Pasante:

**PAOLA ITZEL SUÁREZ ESTRADA**

Boleta:

**2012320859**

Carrera:

**IQI**

Generación:

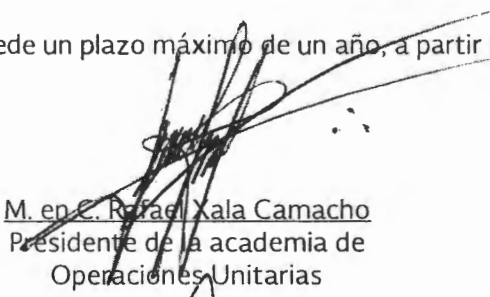
**2012-2016**

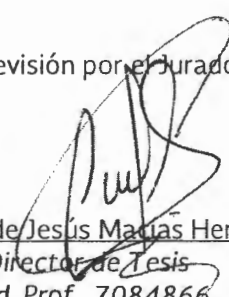
Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza que el C. **Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández** sea asesor en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:

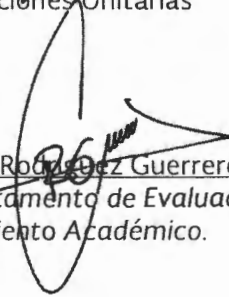
**"Estabilización de emulsión crudo pesado-agua con partículas de carbón y emulsificante no iónico".**

Resumen.  
Introducción.  
I.- Generalidades.  
II.- Desarrollo experimental.  
III.- Resultados experimentales.  
Conclusiones y recomendaciones.  
Referencias.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.

  
M. en C. Rafael Xala Camacho  
Presidente de la academia de  
Operaciones Unitarias

  
Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández  
Director de Tesis  
Ced. Prof. 7084866

  
Ing. César Rodríguez Guerrero  
Jefe del Departamento de Evaluación y  
Seguimiento Académico.

  
Ing. Víctor Manuel Feregrino Hernández  
Subdirector Académico



**T-138-18**

Ciudad de México, a 22 junio de 2018.

A la C. Pasante:

**PAOLA ITZEL SUÁREZ ESTRADA**  
**PRESENTE**

Boleta: **2012320859** Carrera: **IQI** Generación: **2012-2016**

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

**“Estabilización de emulsión crudo pesado-agua con partículas de carbón y emulsificante no iónico”**

encontramos que el citado Trabajo escrito de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las

Atentamente  
**JURADO**

Ing. Gabriel Enrique Santana Rodríguez  
**Presidente**

Ing. Laura Angélica Almaguer Téllez  
**Secretaria**

Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández  
**1er. Vocal**

Dr. Gregorio Zacahua Tlacuatl  
**2° Vocal**

Ing. Jemima Tamara Vázquez Rodríguez  
**3er. Vocal**

indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

## **Dedico este proyecto de tesis a:**

Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por poner los cimientos necesarios para mi desarrollo, el tiempo destinado para enseñarme nuevas cosas, por brindarme aportes invaluable que servirán para toda mi vida y por su incondicional apoyo a través del tiempo.

A mis hermanos aunque en la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, hay momentos en los que la guerra cesa y nos unimos para lograr nuestros objetivos. Gracias por no solo ayudarme en gran manera a concluir en el desarrollo de esta carrera profesional, si no por todos los bonitos momentos que pasamos durante el proceso y por sus palabras de aliento.

A ti que tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo en los momentos más difíciles. El camino no fue fácil, pero estuviste motivándome, acompañándome y brindándome tu amor en cada paso.

A mi asesor de tesis el Dr. Manuel de Jesús Macías Hernández por sus conocimientos, dedicación y su motivación han sido fundamentales para el desarrollo de la presente y sobre todo por su paciencia hacia mí.

Por inculcarme un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podría tener una completa formación.

**Paola Itzel**

# INDICE

Resumen	i
Introducción	ii

## Capítulo I Generalidades.

1.1	Descripción del petróleo	1
1.1.1	Clasificación del petróleo	1
1.1.2	Tipos de petróleo	3
1.1.3	Composición de petróleo crudo	4
1.1.4	Características del petróleo crudo	5
1.1.5	Composición del petróleo crudo	7
1.1.6	Análisis SARA	8
1.1.7	Regiones nacionales	10
1.1.8	Emulsiones	13
1.1.9	Estabilización de los mecanismos	15
1.1.10	Agentes emulsionantes	16
1.1.11	Agente de superficie activa	17
1.2	Partículas sólidas finas como estabilizador natural	18
1.2.1	Carbón activado	18
1.2.2	Estabilidad de las emulsiones	18
1.2.3	Estabilización de la emulsión con partículas de carbono y surfactante	19
1.2.4	Aplicación de las partículas de carbono como catalizador	20

## Capítulo II Desarrollo Experimental.

2.1	Metodología experimental	22
2.2	Primera etapa preparación de la emulsión	23
2.2.1	Crudo	23
2.2.2	Surfactante (nonil fenol etoxilado)	23
2.2.3	Preparación de la emulsión	23
2.3	Segunda etapa	24
2.3.1	Grafito	24
2.4	Preparación de la emulsión agua-crudo y partículas de carbón	25
2.5	Tercera etapa	26
2.5.1	Medición del precipitado	26
2.5.2	Medición de la tensión superficial	26
2.6	Análisis por microscopio óptico	27

### **Capítulo III Resultados Experimentales.**

3.1	Estabilización de las emulsiones con carbón activado	28
3.2	Estabilización de las emulsiones con grafito	30
3.3	Tensión superficial	32
3.4	Micrografía óptica de las emulsiones	34
3.5	Emulsiones carbón activado	36
3.6	Emulsiones con partículas de grafito	37
	Conclusiones	38
	Recomendaciones	38
	Referencias Bibliográficas	38

## INDICE DE FIGURAS

No.	Nombre	Pág.
1.1	Clasificación de compuestos de hidrocarburos.	5
1.1.2	Estructura de compuestos saturados.	9
1.1.3	Moléculas de asfaltenos.	9
1.1.4	Estructura propuesta para las resinas.	10
1.1.5	Producción petrolera en México.	11
1.1.6	Producción de petróleo por región.	11
1.1.7	Ubicación del proyecto Ku-Maloob (CNH).	13
1.1.8	Fotomicrografía de emulsión aceite-agua.	14
1.1.9	Fotomicrografía emulsión agua-aceite.	14
1.2.0	Fotomicrografía emulsión de agua-aceite-agua	15
1.2.1	Mecanismos presentes en las emulsiones.	16
1.2.2	Mecanismo de la estabilización de la emulsión con carbono y surfactante.	19
1.2.3	Interfase agua-aceite en la emulsión estabilizada por sólidos.	20
1.2.4	Mecanismo de reacción nano partículas de carbón en el cracking de crudo pesado.	21
2.1	Diagrama experimental	22
2.1	Sistema de montaje de la preparación de la Emulsión.	25
2.3	Sistema de medición de capilaridad.	27
2.4	Microscopio óptico Carl Zeiss.	27
3.1	Relación precipitado del crudo contra la concentración del emulsificante.	29
3.2	Relación precipitado del crudo contra la concentración del emulsificante.	31
3.3	Tensión superficial por capilaridad.	32
3.4	Microscopia emulsión de carbón activado 0.1M	34
3.5	Microscopia emulsión de grafito 0.1 M.	35



3.6	Emulsiones con carbón activado y concentración de surfactante 0.01-0.13 M	36
3.7	Emulsiones con partículas de grafito de concentración de surfactante.	37

### Índice de Tablas

No	Nombre	Pág.
1.1	Clasificación del petróleo por su densidad.	3
1.2	Composición del petróleo crudo.	4
1.3	Petróleos crudos mexicanos	7
3.1	Estabilización de las emulsiones con carbón activado.	28
3.2	Estabilización de las emulsiones con grafito.	30
3.3	Resultados de la altura de capilaridad en las emulsiones.	32
3.4	Propiedades del crudo y el capilar.	33
3.5	Tensión superficial de las emulsiones.	33

### Índice de ecuaciones

No	Nombre	Pág.
1	Gravedad API.	3
2	Mecanismo de reacción del ácido sulfhídrico.	6
2.1	Tensión superficial.	26
3	Estabilización de las emulsiones con carbón activado.	27

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es el análisis de las tecnologías de dispersión de nanocatalizadores en la estabilización de emulsiones en la interfase de crudos pesados-agua, fue realizada con la finalidad de desarrollar una alternativa para el transporte dentro de las tuberías de crudos pesados con emulsiones estabilizadas, así como desarrollar líneas de investigación experimental y simulación de procesos.

La industria petrolera debe enfrentar los problemas provocados por los fenómenos interfaciales en casi todos sus procesos de interés; es por ello que el uso de surfactantes se ha convertido en una práctica común en las operaciones de perforación, producción, transporte y refinación de petróleo.

En el primer capítulo se describen los tipos de crudo existentes en nuestro país, sus propiedades, la estabilidad y clasificación de las emulsiones y agentes emulsionantes.

En el segundo capítulo se describe el desarrollo experimental llevado a cabo para la realización de las emulsiones variando concentración y el tipo de partículas catalíticas de carbón y grafito.

En el tercer capítulo encontramos el punto óptimo de concentración de emulsificante y la cantidad menor de precipitado para partículas de carbono y grafito en las emulsiones. Se presentan tablas comparativas y gráficos, realizando una evaluación de los resultados experimentales obtenidos en las diferentes emulsiones realizadas.

En este trabajo se pudo concluir que las emulsiones con carbón activado con mayor concentración de emulsificante presentan menor precipitado y mejor estabilidad logrando reducir la viscosidad y tensión superficial por ello son la mejor opción para el transporte de crudo pesado en tuberías.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro país enfrenta la Reforma Energética la cual es un paso decidido rumbo a la modernización y optimización del sector energético de nuestro país, se dice que es necesaria por dos razones; para producir más hidrocarburos a un menor costo, permitiendo así que empresas privadas complementen la inversión de Petróleos Mexicanos mediante contratos para la exploración y extracción del petróleo y gas; para obtener mejores resultados bajo condiciones competitivas en las actividades de refinación, transporte y almacenamiento, permitiendo que las empresas privadas participen bajo la regulación del Gobierno de la República.

En México la producción y extracción de crudos pesados es complicada debido a la problemática en la que se encuentra por la perforación de yacimientos a varios kilómetros del fondo del mar, a presiones altas y una viscosidad considerable por lo cual dificulta su extracción. Por ello se busca el desarrollo de nuevas tecnologías para el transporte de crudos pesados, ya que debido a su ubicación, composición, propiedades físicas y químicas, para su extracción se requiere de tecnología de innovación e inversión baja.

Los crudos pesados tienen viscosidades altas y punto de solidificación alto. En la producción de crudos pesados, las técnicas de recuperación térmicas son ampliamente usadas como estimulación por inyección de vapor e inundación por vapor. Las emulsiones son formadas durante el proceso de extracción del crudo favoreciendo el transporte en el yacimiento por reducción de viscosidad.

Ramsden and Pickering encontraron que las emulsiones llegan hacer estable con partículas sólidas en los campos petrolíferos. Li et al. 2014 estudio la aplicación de partículas de carbono en emulsiones para el mejoramiento de crudos pesados por acuatermolisis asistida por microondas reduciendo la viscosidad. Katepalli et al. 2013 utiliza carbono negro con surfactantes en la estabilización de emulsiones de octano-agua, el efecto del emulsificante es estudiado a diferentes concentraciones.

El carbono se ha utilizado en catálisis heterogénea como material en los soportes del catalizador y como promotores en el catalizador en tamaño micro y nano. El carbono exhibe varias características prometedoras para la catálisis, incluyendo superficies muy altas en nanotubos, resistencia a la temperatura en entornos no oxidantes y ambientes ácidos y básicos, así como la reactividad superficial y la afinidad química, lograda por la funcionalización (Ruiz et al 2010).

Por lo tanto, en este trabajo se estudia la estabilización de las emulsiones crudo-agua utilizando un crudo pesado mexicano pesado, partículas de carbono y diferentes concentraciones de surfactante no iónico. Se analiza el tiempo estabilización de la emulsión y desestabilización durante el comportamiento de floculación, coalescencia, crema y sedimentación.

# CAPITULO I GENERALIDADES

---

## CAPITULO I GENERALIDADES

### 1.1 Descripción del Petróleo.

La teoría orgánica nos explica que su origen se debió a la descomposición de restos fósiles y algas marinas en el fondo de lagunas y mares que con diversas condiciones de presión, temperatura, tiempo y condiciones del mismo ecosistema se fueron formando los hidrocarburos compuestos formados de carbón e hidrogeno con cantidades pequeñas de oxígeno azufre, nitrógeno y algunos metales como vanadio, níquel, cromo y fierro.

El petróleo es un líquido viscoso que puede presentar coloración verdosa hasta un negro con tonos azules, su olor es fuerte, característico al azufre que contiene con un aspecto aceitoso.

El petróleo es un recurso no renovable, se utiliza principalmente en la fabricación de combustibles y de sus derivados, se pueden obtener diversos productos tales como plásticos, pavimento para carreteras, muebles, fibras sintéticas, aceites y lubricantes.

#### 1.1.1 Clasificación del petróleo.

El crudo puede ser clasificado de distintas formas; por los hidrocarburos presentes, su grados API y por el contenido de azufre.

Por su gravedad API:

El grado API (American Petroleum Institute) lo cual determina la densidad que tiene el petróleo, ligero o pesado. Si es mayor que 10 es más ligero que el agua.

- Petróleo crudo ligero: en su composición se aprecia un bajo contenido en ceras. Es considerado ligero el que posee una gravedad API de entre 33-39.9.
- Petróleo crudo medio: su gravedad API comprende el criterio de entre 22.0 – 29.9.
- Petróleo crudo pesado: cuenta con una gravedad API de entre 10-21.9. Este tipo de petróleo no fluye con facilidad, al igual que el petróleo extra pesado. Contienen una mayor densidad y peso molecular en su estructura.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

- **Petróleo crudo extra pesado:** Su estructura cuenta con una gravedad API menos que 10, es decir, que pesa más que el agua<sup>[1]</sup>.

Por el tipo de hidrocarburos:

- **Petróleo Parafinado:** en su composición predomina el hidrocarburo saturado en un 75%. Sus características principales radican en que son muy fluidos, de poca coloración y bajo peso. Se utiliza principalmente para la obtención de gasolina, solventes para pinturas, etc. por su bajo contenido de azufre y altos puntos de congelación.
- **Petróleos Nafténicos o aromáticos:** contiene un 45% de hidrocarburos saturados en su composición. Contiene bajo contenido de azufre y bajos puntos de congelación.
- **Petróleo Asfalténico:** En su composición se observan altas cantidades de residuos, como azufre y metales y, sobre todo una alta viscosidad por lo que es ideal para la creación de asfalto.
- **Petróleo de Base Mixta:** Se encuentran todas las clases de hidrocarburos existentes, parafinadas, nafténicos, aromáticos, afalténicos. La mayoría de los yacimientos que se encuentran en el mundo son de este tipo.

Por el contenido de Azufre:

- **Petróleo crudo dulce:** cuenta con una proporción menor del 0.5 % de azufre, lo que es considerado un petróleo de alta calidad y suele ser procesado para obtener gasolina.
- **Petróleo crudo medio:** el promedio de azufre en su composición comprende un rango de entre 0.5 y 1%.
- **Petróleo crudo amargo:** En su composición se puede apreciar un promedio de más del 1% de azufre lo que da como resultado un costo de refinamiento mayor.<sup>[2]</sup>

# CAPITULO I GENERALIDADES

## 1.1.2 Tipos de Petróleo.

En nuestro país existen diversos tipos de petróleo, su clasificación general se basa en los grados API teniendo así petróleo extra pesado, petróleo pesado, petróleo mediano, petróleo ligero y petróleo super ligero, lo cual conlleva a un estudio de varias propiedades del petróleo tales como densidad, viscosidad, puntos de ebullición y color del petróleo.

$$\text{Gravedad API} = \frac{141.5}{sg_{15.6^{\circ}C}} - 131.5 \dots \dots \dots (\text{Ec. 1})$$

Actualmente en nuestro país se preparan y se exportan cuatro tipos de petróleo crudo:

- El Itsmo es un petróleo ligero el cual cuenta con 1.3% peso de azufre y una densidad en grados API de 33.6.
- El Maya es un petróleo pesado el cual cuenta con 3.3% peso de azufre y una densidad de 22 grados API.
- El Olmeca es considerado súper ligero el cual cuenta con 0.8% peso de azufre y una densidad de 39.3 grados API.
- El Altamira es considerado pesado, el cual cuenta con 5.5% a 6% peso de azufre y una densidad de 15.5 a 16.5 grados API.

Tabla 1.1 Clasificación del petróleo por su densidad [3].

Aceite crudo	Densidad ( $g/cm^3$ )	Densidad grados API
Extra pesado	>1.0	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39
Supe ligero	< 0.83	>39

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

El petróleo existente en nuestro país es un sesenta por ciento 60 % crudo pesado, por lo que se tiene una alta producción de residuos que empobrecen la calidad y cantidad de productos petroquímicos.

Un ejemplo es el crudo maya el cual contiene altas concentraciones de asfáltenos, por lo que aproximadamente el 30% de sus residuos extraídos no son útiles para fines de refinación.

Con el aumento de la producción de estos tipos de crudos pesados y extra pesados las refinerías se ven en serios problemas al no saber cómo procesar estos crudos que por su alta viscosidad son de difícil transporte y extracción, por ello que se decide estudiar varias alternativas para el tratamiento, transporte y separación del crudo pesado.

### 1.1.3 Composición del Petróleo Crudo

Tabla1.2. Composición del Petróleo Crudo.

Elemento	Composición en % peso
Carbón	83 – 87 %
Hidrógeno	10 – 14 %
Oxígeno	0.05 – 1.5 %
Azufre	0.04 – 6.0 %
Nitrógeno	0.1 – 2.0 %
Metales (Ni + V)	< 1000 ppm
Asfáltenos	0.1 – 12



## 1.1.4 Características del Petróleo Crudo

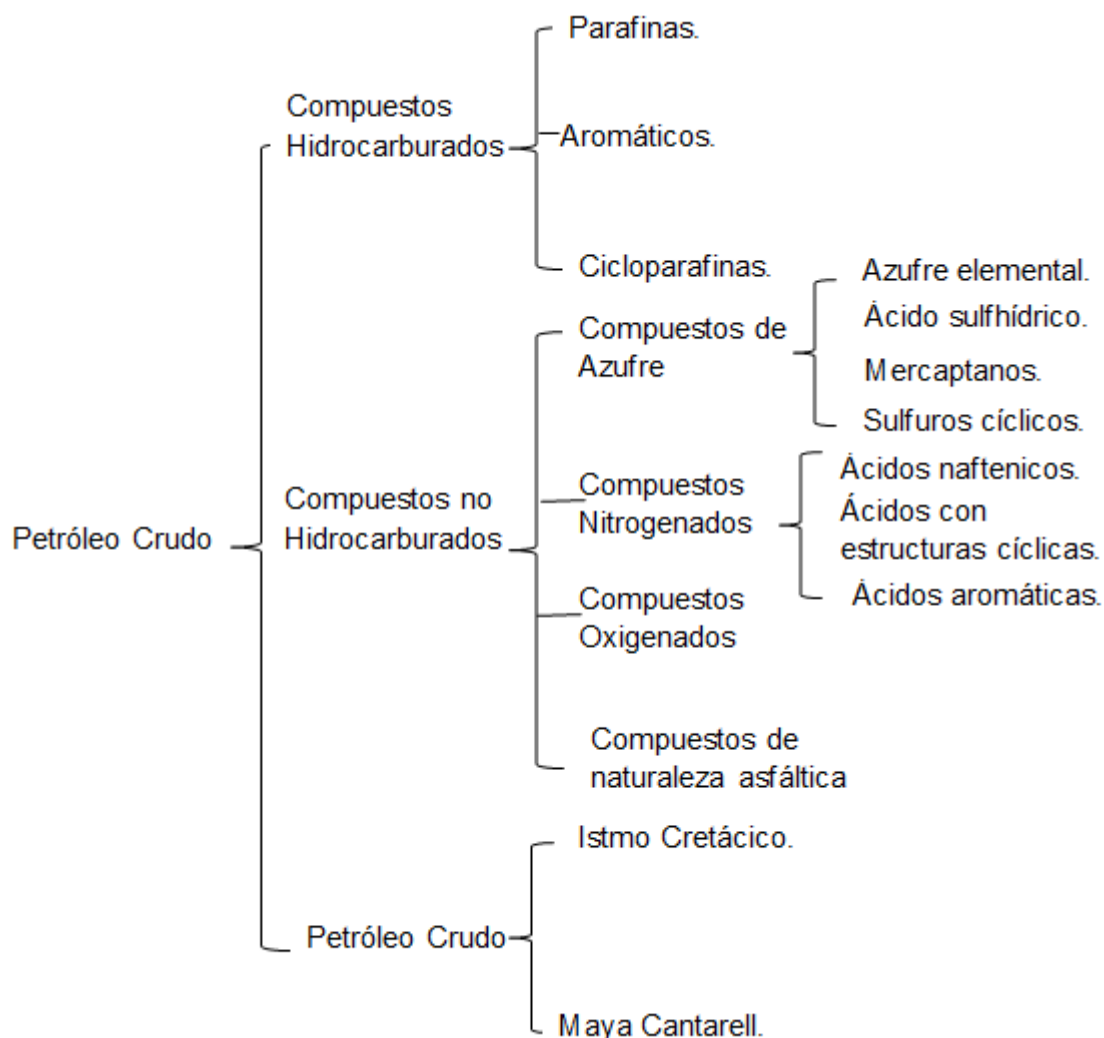


Figura 1.1.1 Clasificación de Compuestos de hidrocarburos.

Los compuestos de hidrocarburos de la Figura 1.1.1 se describe a continuación:

*Las Parafinas:* Son componentes relativamente estables. En condiciones normales no son atacados por los agentes oxidantes, resisten la acción de los álcalis concentrados.

*Cicloparafinas:* Están íntimamente relacionados con las parafinas en lo que se refieren a las propiedades químicas.

*Aromáticos:* Son compuestos cíclicos y su anillo es muy estable. Se pueden formar una gran cantidad de compuestos derivados sustituyendo uno o más de los átomos de hidrógeno por radicales.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

*Compuestos de Oxígeno:* Los compuestos oxigenados existen en forma de asfaltos, fenoles y ácidos nafténicos. El total de oxígeno en todas sus diversas formas se encuentra hasta en un 15%.

*Ácidos Nafténicos:* Son aquellos con estructura cíclica simplificada, conteniendo un grupo funcional carboxílico que le da la propiedad ácida.

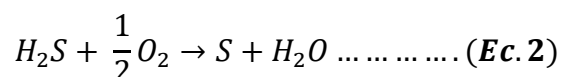
*Ácidos con Estructura Cíclica:* Son conocidos como ácidos grasos y encontrándose la mayor parte de ellos en las gasolinas, kerosinas y productos de craqueo.

*Ácidos Aromáticos:* Su estructura es compleja, presentando tantos ciclos nafténicos como aromáticos y cadenas laterales en la misma molécula.

*Fenoles:* Estos productos son más frecuentes en los destilados obtenidos por craqueo, lo que hace pensar que su formación se debe principalmente a la descomposición térmica de resinas de alto peso molecular.

*Compuestos de Azufre:* El azufre puede presentarse como ácido sulfhídrico, que se encuentra disuelto en el crudo, también puede encontrarse formando parte de compuestos hidrocarbonados como mercaptanos, sulfuros, tiofenos y benzotiofenos polisustituídos. El azufre también puede desprenderse como sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el cual es altamente tóxico. Estos compuestos de azufre contribuyen a la corrosión de las instalaciones productivas, al envenenamiento de los catalizadores involucrados en los procesos y también al incremento de la contaminación ambiental como resultado de la combustión de los derivados utilizados como combustibles.

*Azufre Elemental:* No se encuentra en el petróleo crudo ni en los productos destilados, si llega a estar presente, se debe a:



*Ácido Sulfhídrico:* Es un producto natural en los gases petrolíferos disueltos y llega a tener hasta el 10% de volumen de gases. Resulta del proceso de descomposición térmica de los mercaptanos y es muy peligroso.

*Mercaptanos:* Están presentes en los gases petrolíferos, procesos de craqueo y destilación primaria, cuando los productos provienen de un grupo sulfuroso.

*Sulfuros Acíclicos:* Son compuestos de azufre que más abundan en el petróleo crudo.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

*Cíclicos:* Son poco frecuentes y han sido identificados en algunos crudos de Canadá, México, USA e Irán.

*Compuestos Nitrogenados:* Estos compuestos provienen de las proteínas de los animales que pasaron a formar compuestos más simples y estables que acompañan al petróleo crudo. Con cantidades suficientes pueden causar problemas, además de que tienen un olor desagradable. El contenido total de nitrógeno en los crudos es generalmente menor de 1% y raras veces llega al 2%.

*Compuestos de Naturaleza Asfáltica:* Los compuestos de naturaleza asfáltica están formados por moléculas grandes que tienen oxígeno, azufre y algunas veces nitrógeno, este tipo de moléculas constituyen las resinas y compuestos asfálticos.

*Compuestos Metálicos:* El petróleo también contiene en algunos casos gran diversidad de metales como vanadio, zinc, compuestos ferrosos y otros, así como se pueden encontrar en las porfirinas.

### 1.1.5 Clasificación del Petróleo Crudo.

Tabla1.3. Petróleos Crudos Mexicanos.

	Nombre	API
PMI Comercio Internacional (comercializa a 25 clientes en América, Europa, Lejano Oriente y resto del Mundo)	Olmecca	38-39°API
	Istmo	32-33°API
	Maya	21-22°API
	Altamira	15.5-16.5°API
Crudos recientemente desarrollados (costa afuera)	Ku-Maloob-Zaap	13°API
	Ayatsil-Tekel	12°API

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

*Contenido de Azufre:* Los petróleos crudos suelen denominarse corrosivos (amargo) o dulces. No existe un criterio numérico preponderante a nivel mundial para la clasificación con base en el contenido de azufre, sin embargo, se han adoptado valores para propósitos comerciales y se encuentran entre los siguientes límites:

- Petróleo dulce: Menos de 0.5% peso de azufre.
- Petróleo intermedio: Entre 0.5 y 2% peso de azufre.
- Petróleo amargo: Más del 2% peso de azufre.

### 1.1.6 Análisis SARA

El análisis SARA es el método de caracterización de petróleos pesados basado en fraccionamiento, por el cual se separa una muestra de petróleo pesado en cantidades más pequeñas o fracciones, de modo que cada fracción tenga una composición diferente. El fraccionamiento se basa en la solubilidad de los componentes de hidrocarburos en diversos solventes utilizados en esta prueba. Cada fracción consta de una clase de solubilidad que contiene un rango de diferentes especies de peso molecular. En este método, se fracciona el petróleo crudo en cuatro clases de solubilidad, llamadas colectivamente "SARA": saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos. Los saturados son, en general, iso y ciclo parafinas, mientras que los aromáticos, las resinas y los asfáltenos forman un continuo de moléculas con peso molecular, aromaticidad y contenido de heteroátomos en aumento <sup>[4]</sup>.

*Aromáticos:* Son hidrocarburos derivados del benceno. El benceno se caracteriza por una inusual estabilidad, que le viene dada por la particular disposición de los dobles enlaces conjugados. Reciben este nombre debido a los olores intensos, normalmente agradables, que presentan en su mayoría. El nombre genérico de los hidrocarburos aromáticos mono y policíclicos es "areno" y los radicales derivados de ellos se llaman radicales "arilo". Todos ellos se pueden considerar derivados del benceno, que es una molécula cíclica, de forma hexagonal y con un orden de enlace intermedio entre un enlace sencillo y un doble enlace.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

*Saturados:* Son compuestos químicos que se encuentran formados en exclusiva por átomos de carbono y de hidrógeno. Los hidrocarburos saturados, son los hidrocarburos alifáticos que tienen todos sus átomos de carbono unidos mediante enlaces de tipo simple.

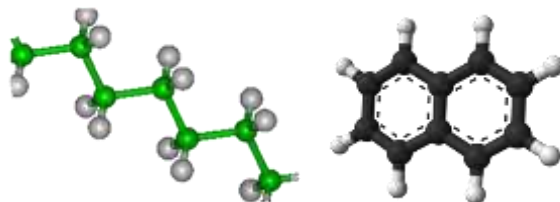


Figura 1.1. 2 Estructura de compuestos saturados<sup>[4]</sup>.

*Asfáltenos:* Son compuestos aromáticos y nafténicos de alto peso molecular con un rango de 1000 a 50000 kg/kgmol, que se encuentran en dispersión coloidal en algunos crudos. Se definen como fracciones que se encuentran en el crudo, solubles en solventes aromáticos como el benceno, tolueno y xileno, pero insoluble en n-alcenos de cadena corta (bajo peso molecular) como por ejemplo el n-pentano, y pueden ser derivados del petróleo y/o carbón. Los asfáltenos son partículas sólidas semicristalinas de color café o negro que contienen anillos condensados de hidrocarburos aromático.

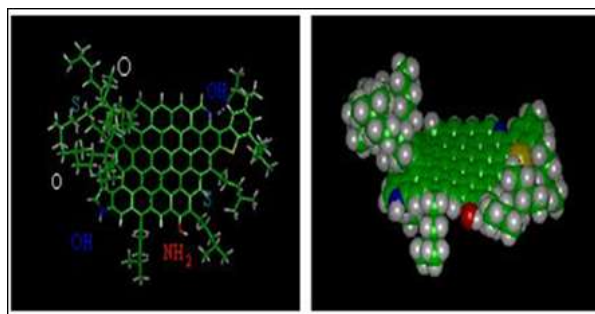


Figura 1.1.3 Moléculas de asfáltenos <sup>[4]</sup>.

*Resinas:* Son definidas como la fracción del crudo constituido por agregados de anillos aromáticos fusionados entre sí, la cual es insoluble en propano líquido, pero soluble en n-heptano. La estructura de las resinas es similar a los asfáltenos, pero son más pequeñas en peso molecular, en el rango de 250 a 1000 kg/kgmol.

## CAPITULO I GENERALIDADES

Poseen una relación más alta de cadenas alifáticas/anillos aromáticos que los asfáltenos, los cuales son recubiertos por las resinas. Éstas se constituyen en una interfase de transición entre el núcleo de asfálteno y el resto de la matriz del crudo, la cual tiene usualmente una relación alta de parafinas/aromáticos.

La diferencia existente entre las resinas y los asfáltenos radica en que éstas son solubles en algunas parafinas normales, como el n-pentano y n-heptano, mientras que los asfáltenos no lo son.

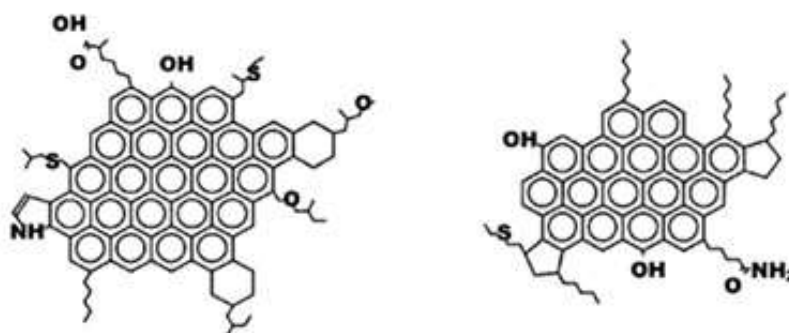


Figura 1.1.4 Estructura propuesta para las resinas.

### 1.1.7 Regiones Nacionales

La región es el ámbito geográfico correspondiente a la división administrativa de PEMEX Exploración y Producción [5]. Se ubican a lo largo de la costa del Golfo de México: Poza Rica, Veracruz (Región Norte), Villahermosa, Tabasco (Región Sur) y Ciudad del Carmen, Cam. (Región Marina Noroeste y Región Marina Suroeste).

Región Marina Noroeste: Cantarell, Ku-Maloob-Zaap y Ek-Balam.

Región Marina Suroeste: Abkatún, Pol-Chuc y Litoral Tabasco.

Región Sur: Muscap, Samaria- Sitio Grande, Jujo- Tecominoacán, Luna, Chilapilla- José Colomo, Bellota- Chinchorro y Cinco Presidentes.

Región Norte: Burgos, Veracruz, Poza Rica y Altamira.

# CAPITULO I GENERALIDADES



Figura 1.1.5 Producción petrolera en México.

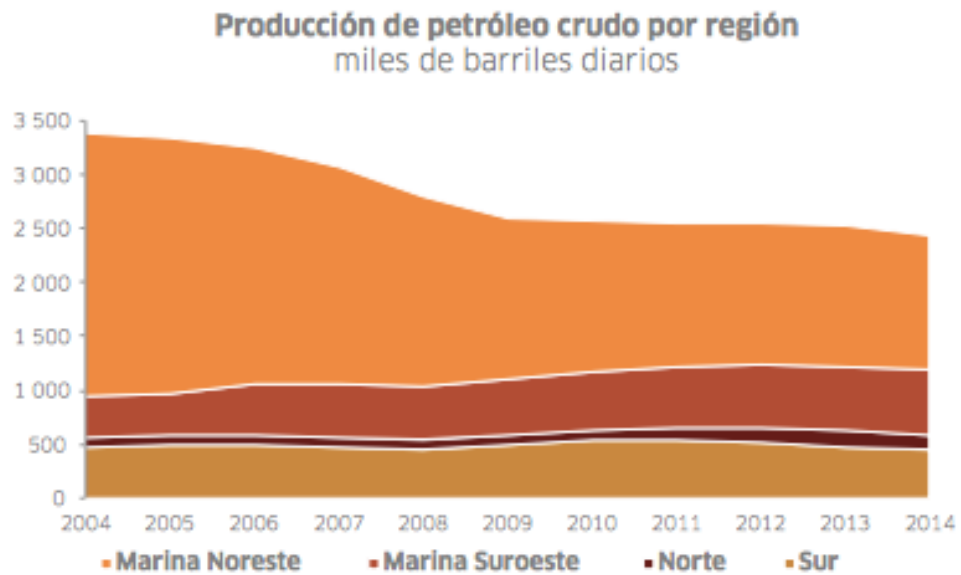


Figura 1.1.6 Producción de Petróleo por Región.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

El petróleo crudo Ku-Maloob-Zaap nombrado así por los pozos marinos en los que fue encontrado considerado pesado por sus grados API.

El área más importante en la producción de crudo pesado, se encuentra localizada en la zona de Campeche en la que se tienen en explotación dos campos, el Complejo Cantarell y el campo Ku-Maloob-Zaap, que producen en rocas carbonatadas de los períodos Paleoceno y Cretácico.

La zona de Campeche, tiene una extensión aproximada de 15,500 km<sup>2</sup> y es por mucho la más prolífica de México. El complejo Cantarell forma parte de esta provincia, así como el complejo Ku-Maloob-Zaap (KMZ), ambos productores de aceite pesado.

El complejo KMZ se caracteriza por un grupo de yacimientos productores principalmente de crudos pesados con densidades que oscilan entre 13 y 22 °API. Se tienen reconocidos 13 campos en el complejo, de los cuales cinco son los principales productores: Ku, Maloob, Zaap, Bacab y Lum.

Ku, con 337 mil barriles diarios y 13.1% de la producción mexicana.

Zaap, con 274 mil barriles diarios y 10.6% de la producción nacional.

Maloob, 218 mil barriles diarios y 8.5% de la producción.

Estos últimos tres campos se encuentran adjuntos a Cantarell y son comúnmente vistos como un proyecto conjunto (Ku-Maloob-Zap), siendo la mayor fuente de nuevo crecimiento de producción en los últimos años.

Los yacimientos Ku y Zaap EM producen aceite de 16 a 17 °API con viscosidades que varían de 8 a 10 cp; por las características del aceite, estos yacimientos se clasifican como de aceite negro. La presión inicial de los yacimientos Ku, Maloob y Zaap es de 281  $\frac{kg}{cm^2}$  a 2520 mvbnm (metros verticales bajo nivel del mar), mientras que la presión de saturación para Ku es 105  $\frac{kg}{cm^2}$ , para Maloob y Zaap de 216  $\frac{kg}{cm^2}$ . Los yacimientos Ku, Maloob



## CAPITULO I GENERALIDADES

se encuentran actualmente en etapa de bajo saturación, mientras que Zaap ya se encuentra por debajo de su presión de saturación [20].

Crudo pesado: (Heavy crude oil) petróleo crudo con densidad igual o inferior a 22°API. Dentro de las regiones productoras más importantes de este tipo de petróleo crudo en Pemex se encuentran: Activo Altamira y Región Marina Noroeste.

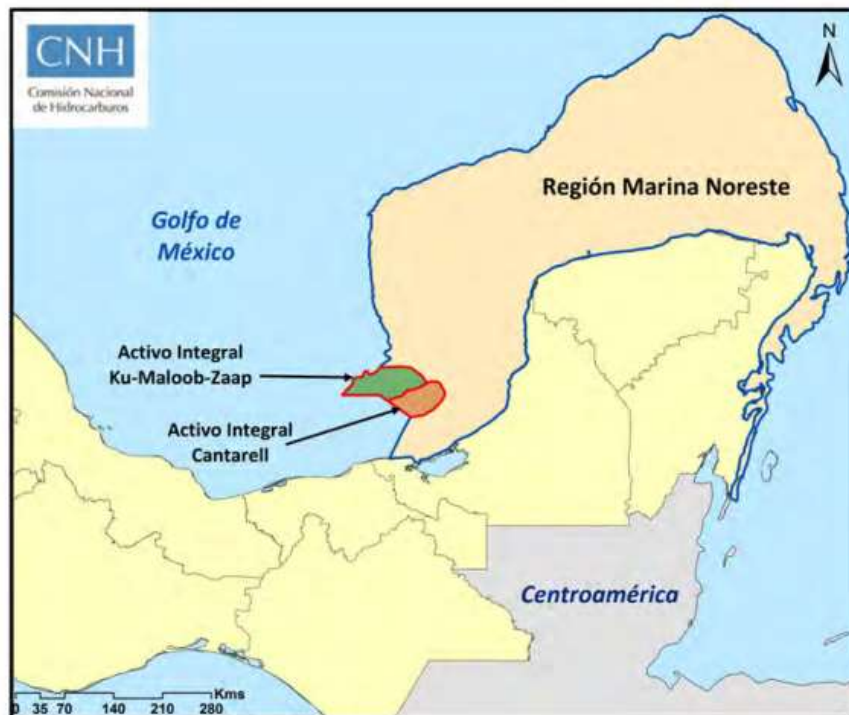


Figura 1.1.7 Ubicación del proyecto Ku-Maloob (CNH 2013).

### 1.1.8 Emulsiones

Una emulsión es una dispersión de finas gotitas de uno o más líquidos en otro líquido inmisible, las emulsiones presentan un sistema inestable debido a su tendencia natural para el sistema líquido/líquido para lograr separar y reducir su área interfacial. Pero la mayoría de estas presentan una estabilidad cinética, las emulsiones producidas por petróleo se clasifican de acuerdo a su estabilidad cinética:

- Emulsiones blandas se separan en pocos minutos.
- Emulsiones medianas se separan en decenas de minutos.

## CAPITULO I GENERALIDADES

---

- Emulsiones tensas se separan en horas o incluso días.

Las emulsiones de aceite en agua (O/W), en esta emulsión el aceite están presente como la fase dispersa y el agua como medio de dispersión. Las emulsiones de aceite en agua se forman cuando el aceite y el agua entran en contacto y cuando un agente emulsionante está presente [6].

Las emulsiones de agua en aceite (W/O), en esta emulsión el agua está presente como la fase dispersa y el aceite como medio de dispersión.

Las emulsiones múltiples (W/O/W) son más complejas y consisten en pequeñas gotas suspendidas en gotas más grandes que están suspendidas en una fase continua. Una emulsión de Agua-Aceite-Agua se compone de gotitas de agua en suspensión en gotitas de aceite más grandes que a su vez están dispersas en una fase acuosa.

En las Figuras 1.7 y 1.8 se muestran los dos tipos de emulsiones aceite-agua y agua-aceite respectivamente, las emulsiones agua aceite se forman generalmente por la presencia de resinas y asfaltenos presentes en el petróleo [21].

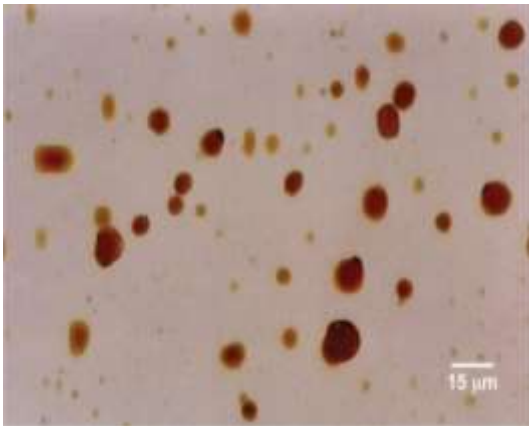


Figura 1.1.8 Fotomicrografía de Emulsión Aceite-Agua (O/W) [21].

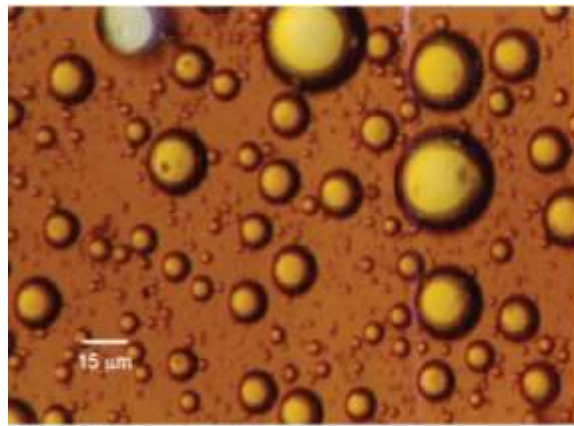


Figura 1.1.9 Fotomicrografía Emulsión Agua-Aceite (W/O) [21].

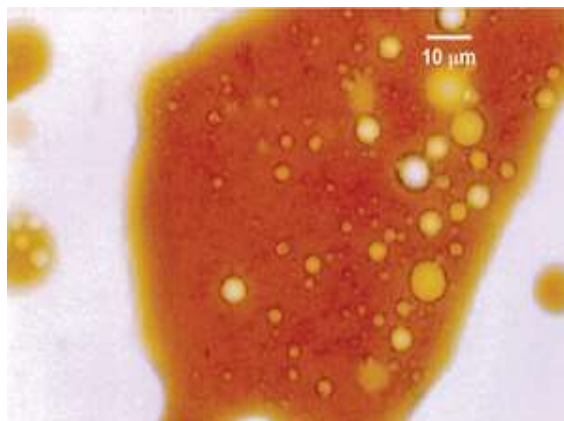


Figura 1.2.0 Fotomicrografía Emulsión de Agua-Aceite-Agua (W/O/W) [21].

### 1.1.9 Estabilización de los mecanismos.

La estabilidad cinética es una consecuencia del tamaño de gota y la presencia de una película interfacial alrededor de las gotitas de agua y es causada por agentes emulsionantes. En general, existen tres subprocesos que influyen en la velocidad de procesos de descomposición en emulsiones: floculación, sedimentación, coalescencia e inversión de fase [7,8].

**Floculación:** Es el proceso en el que las gotas de emulsión agregadas no causan ruptura de la estabilización de la capa en la interfase. La floculación de las emulsiones es un proceso que tiene lugar cuando actúan las fuerzas de atracción de Van der Waals, estas fuerzas son capaces de superar a las fuerzas repulsivas; por consecuencia si las partículas están lo suficientemente próximas entonces se formaran los flóculos.

**Sedimentación:** Se trata de un proceso generado por la acción de gravedad y produce la separación, es la caída de gotas de agua de una emulsión debido a la diferencia de densidad entre el aceite y el agua.

**Coalescencia:** Es un proceso irreversible en la que dos o más gotas de la emulsión se fusionan para formar una sola gota más grande donde se rompe la interface se requerirá un aporte mayor de energía para restablecer la distribución del tamaño de partícula.

Engrosamiento de gotas: Es el proceso en el cual las gotas más grandes crecen a costa de las más pequeñas causando que las gotas más pequeñas desaparezcan y se debe a que la presión interna de las gotas es mayor en las gotas más pequeñas.

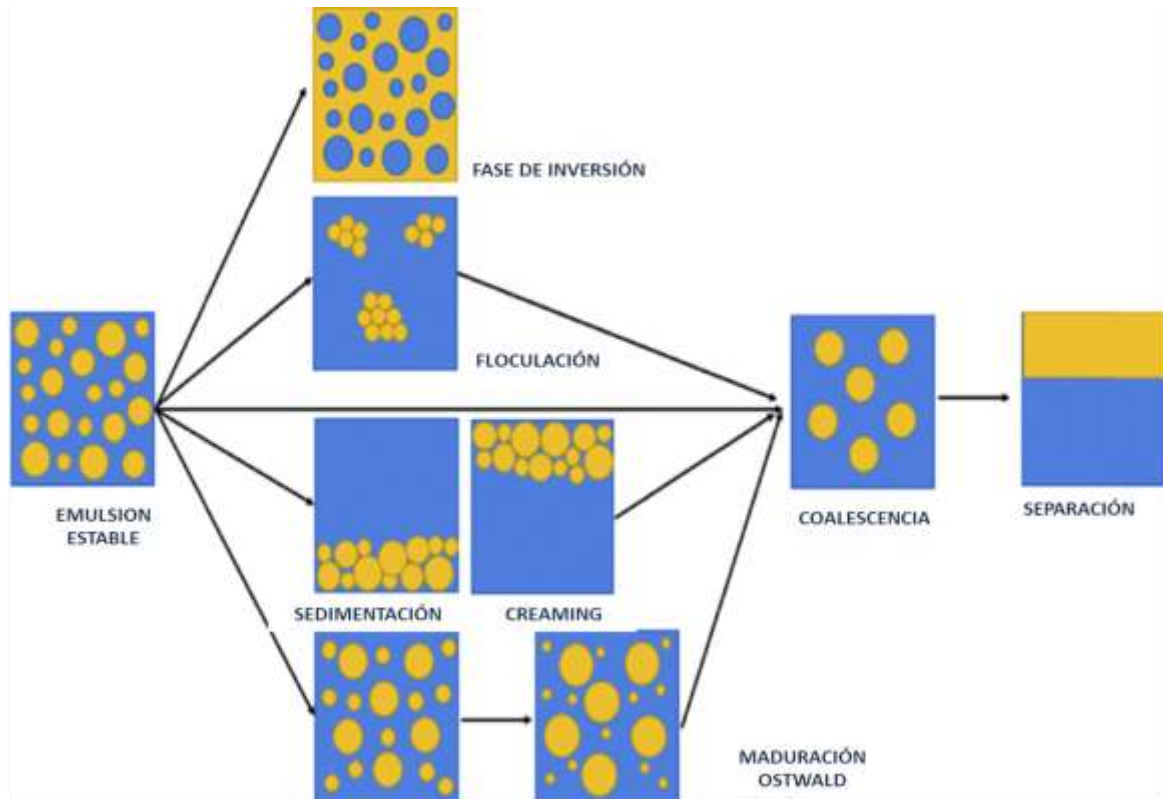


Figura 1.2.1 Mecanismos presentes en las emulsiones [9].

### 1.1.10 Agentes emulsionantes

Los agentes emulsionantes son sustancias que se agregan para estabilizar una emulsión o mezcla. Las emulsiones de crudo se forman cuando el aceite y el agua entran en contacto entre sí cuando hay una mezcla suficiente y cuando está presente un agente emulsionante. La cantidad de mezcla y la presencia de emulsionante son críticos para la formación de una emulsión. Durante la producción de petróleo crudo, hay varias fuentes de mezcla, a menudo referida como la cantidad de esfuerzo cortante, incluyendo el flujo a través de la roca del

yacimiento del fondo del pozo; perforaciones bomba; fluir a través de los tubos, y los cabezales de producción; válvulas, accesorios y las reducciones; equipos de superficie; y burbujas de gas en circulación debido al cambio de fase. La cantidad de mezcla depende de varios factores y es difícil de evitar. En general, cuanto mayor sea la mezcla y las gotitas más pequeñas de agua dispersas en el aceite mayor será la emulsión [7].

### **1.1.11 Agente de superficie activa**

Los agentes de superficie activa (surfactantes) son compuestos que son parcialmente solubles en agua y aceite. Tienen una parte hidrófoba que tiene una afinidad para el aceite y una parte hidrófila que tiene una afinidad para el agua. Debido a esta estructura molecular, tensioactivos tienden a concentrarse en la interfase aceite / agua, donde forman películas interfaciales. Esto conduce generalmente a una disminución de la tensión interfacial (IFT) y promueve la dispersión y emulsificación de las gotitas de surfactante natural en el aceite crudo incluyen mayores fracciones de punto de ebullición, tales como: los asfáltenos y resinas, ácidos orgánicos y bases.

Estos compuestos han demostrado ser los principales constituyentes de las películas interfaciales que se forman alrededor de las gotitas de agua en muchas emulsiones de campos petroleros. Los efectos estabilizadores de los asfáltenos se discuten en la estabilidad de emulsiones de aceite. Otros tensioactivos que pueden estar presentes, son los productos químicos inyectados en la formación o pozos, por ejemplo: los fluidos de perforación, productos químicos de estimulación, inhibidores de corrosión, inhibidores de incrustaciones, cera y agentes de control de asfáltenos [10].

### **1.2. Partículas sólidas finas como estabilizador natural**

Los sólidos finos pueden actuar como estabilizadores mecánicos. Estas partículas, que deben ser mucho más pequeñas que las gotitas de la emulsión, se acumulan en la interfase aceite/agua y se humedecen por tanto el aceite y el agua. La eficacia de estos sólidos en la estabilización de las emulsiones depende de factores tales como: tamaño de partícula, las interacciones entre partículas, la humectabilidad de las partículas. Normalmente los sólidos finos se encuentran en la producción de petróleo como las partículas de arcilla y arena <sup>[11-12]</sup>.

#### **1.2.1 Carbón Activado.**

El carbón activado es un polvo fino que presenta una coloración negra con ausencia de olor, es insoluble en agua su punto de fusión es a los 3550 ° C y su temperatura de ebullición a 4827° C.

El carbón activado contribuye en las labores de disminución de emisiones al permitir la limpieza y separación de componentes en los flujos líquidos y gaseosos. Su uso adicional como catalizador o como soporte para catalizadores, permite realizar procesos químicos bajo condiciones óptimas de operación ambiental.

#### **1.2.2 Estabilidad de las Emulsiones.**

Las emulsiones son sistemas inestables ya que son un sistema líquido-líquido para separar y reducir su área interfacial y por consiguiente su energía interfacial, pero la mayoría de las emulsiones presentan estabilidad cinética, las emulsiones procedentes de los yacimientos petrolíferos se clasifican en función de su grado de estabilidad cinética <sup>[13]</sup>.

Las emulsiones de yacimientos petrolíferos producidos son estabilizadas por películas que se forman alrededor de las gotitas de agua en la interfase aceite-agua. Estas películas se cree que resulta de la adsorción de alto peso molecular polar de moléculas que son interfacialmente activa, estas películas mejoran la estabilidad de una emulsión al aumentar la viscosidad interfacial.

## CAPITULO I GENERALIDADES

Las propiedades de las películas interfaciales dependen ser de acuerdo al tipo de petróleo, la composición y el pH del agua, la temperatura, el grado en que se comprime la película adsorbida, del contacto o tiempo de envejecimiento, y la concentración de polar de moléculas en el petróleo crudo.

### 1.2.3 Estabilización de la emulsión con partículas de carbono y surfactante

Las partículas de carbón negro se cargan negativamente con un pH neutro y son hidrófilas. La reducción del pH de la dispersión acuosa, protona algunos de los grupos carboxilato de superficie, reduce la magnitud de la carga superficial (aunque todavía es negativa), y hace que las partículas sean parcialmente hidrófobas. Esta característica hidrófila/hidrófoba es necesaria para que las partículas establezcan una emulsión [14-15-16].

Dependiendo de la interacción del anfifílico con partículas, la actividad interfacial, y la concentración global, algunas partículas de carbón quedan desplazadas de las interfaces octano-agua y se sustituyen por los surfactantes. Las emulsiones se mantienen estables a través de este intercambio. Las partículas salen de las interfaces octano-agua por dos modos distintos que dependen de la naturaleza de las interacciones de partículas-surfactantes. Ambos suceden en escalas de tiempo del orden de segundo<sup>[17]</sup>.

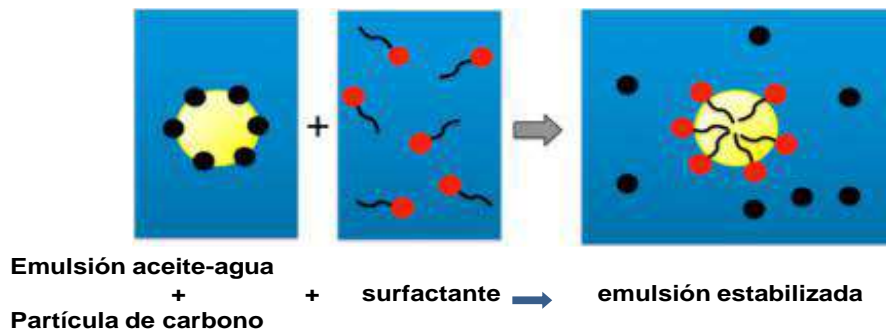


Figura.1.2.2 Mecanismo de la estabilización de la emulsión con carbono y surfactante.

### 1.2.4 Aplicación de las partículas de carbono como catalizador.

Crossley et al 2010 estudio las nanopartículas sólidas que catalizan reacciones de mejoramiento de biocombustibles en la interfase de agua/aceite. Un catalizador recuperable que establezca simultáneamente emulsiones sería altamente ventajoso en la racionalización de procesos como el refinado de biomasa, en el que la inmiscibilidad y la inestabilidad térmica de los productos crudos complican enormemente los procedimientos de purificación. Aquí, reportamos una familia de catalizadores sólidos que pueden estabilizar emulsiones agua-aceite y catalizar reacciones en la interfase líquido-líquido como paladio/carbono o paladio depositado en nanotubos de carbono-óxidos inorgánicos. Dependiendo de la temperatura de reacción y solubilidades, las reacciones que prevalecen son hidrogenación, hidrogenólisis, o descarbonilación, los productos pueden estar en la fase acuosa o emigran a la fase de aceite [18].

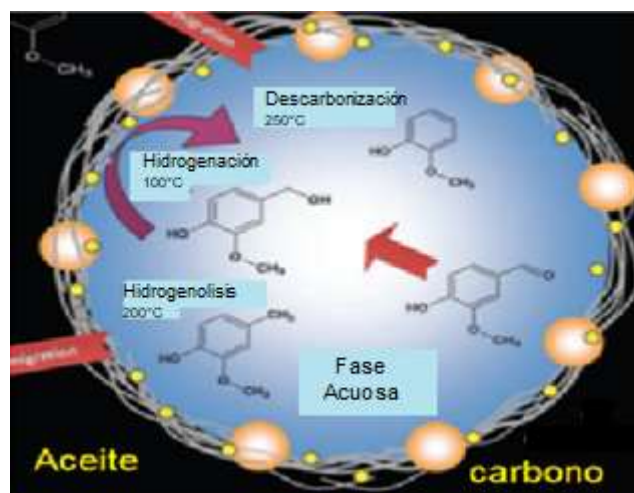


Figura. 1.2.3 Interfase agua-aceite en la emulsión estabilizada por sólidos [4].

Li et al. 2014 encontró que la energía de enlace de los enlaces C-S es la más pequeña entre las moléculas de crudo pesado. Como resultado, el azufre orgánico existente en los componentes pesados del petróleo crudo pesado, es la sustancia clave durante la reacción del craqueo catalítico. Las partículas de catalizador tradicionales son relativamente grandes con área de superficie limitada, por lo que su interacción con muchos enlaces C-S puede ser difícil.



## CAPITULO I GENERALIDADES

Las partículas de nanocatalizador tienen una relación superficie/volumen mucho mayor, por lo que puede ser más fácil para ellos interactuar con los enlaces C-S y finalmente romper estos enlaces C-S para reducir la viscosidad del aceite pesado [19].

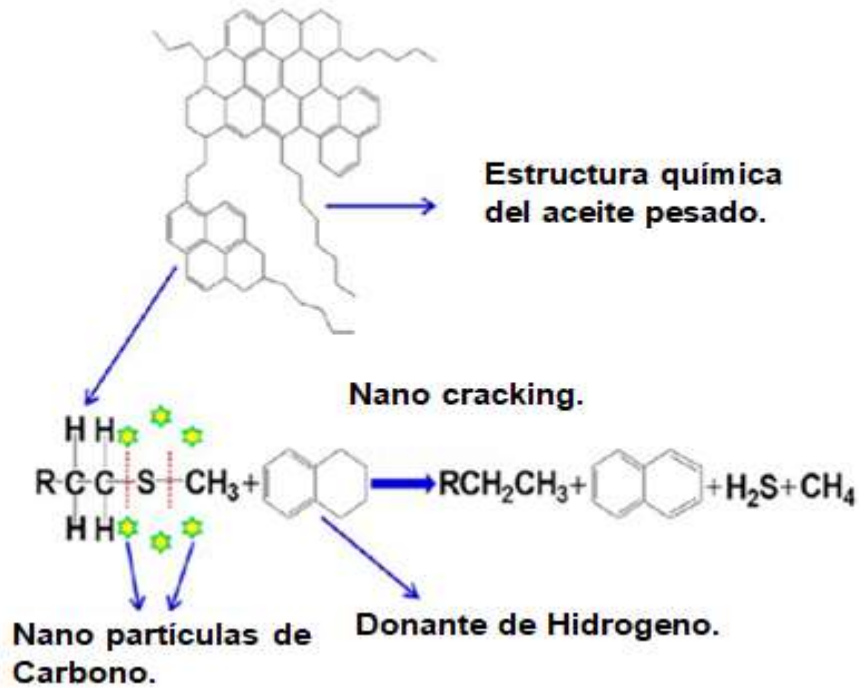


Figura 1. 2.4 Mecanismo de reacción nano partículas de carbón en el cracking de crudo pesado<sup>[4]</sup>.

### **2.3 Segunda etapa**

Preparación de la emulsión con partículas de carbono activado y grafito.

Este paso se analiza la estabilidad de la formación de la emulsión, precipitado y formación de creaming.

#### **2.3.1 Grafito.**

Uno de los catalizadores utilizados en la preparación de emulsiones fue el grafito el cual es un mineral suave, de color gris a negro, brillo metaloide, dureza de 1-2, cristaliza en el sistema hexagonal, estable y químicamente inerte a temperatura ambiente, inodoro, no tóxico, resistente al calor y excelente conductor de calor y electricidad, es compresible y maleable, resiste el ataque químico, el choque térmico, la contracción y la oxidación, tiene bajos coeficientes de fricción, expansión térmica y permeabilidad, flexible en un amplio rango de temperaturas y excelente lubricante.

El grafito no es soluble en agua y no se derrite a altas temperaturas, si no que pasa al estado gaseoso directamente (sublimación) a temperaturas mayores de 3800 °C.

## CAPITULO II DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.4 Preparación de la emulsión agua-crudo y partículas de carbón

La preparación de las emulsiones se mantuvo constante el porcentaje de agua y crudo 50/50, el porcentaje peso de catalizador, el tiempo de agitación y las revoluciones por minuto variando la concentración de emulsificante y el tipo de partículas de catalizador.

Metodología de la emulsión:

1. Se agregó un 0.03% en peso de partículas de catalizador en la emulsión preparada de crudo y agua 50/50 % peso, y las gotas de emulsificante dependiendo de la concentración requerida. Agitación por 15 a 30 min, con 700 rpm y a temperatura ambiente.
2. Se analiza la estabilización y desestabilización de la emulsión de acuerdo al tiempo de agitación para observar la precipitación y creaming de la emulsión.
3. Se analizó durante dos semanas la interface de crudo agua para cada una de las muestras en un tubo de ensayo.

El procedimiento se repite para las demás emulsiones variando la concentración del emulsificante y el tipo de nanocatalizador.



Figura 2.2 Sistema de montaje de la preparación de la emulsión.

### 2.5 Tercera etapa

Se realizó las pruebas cuantitativas de las emulsiones estabilizadas como el precipitado de la emulsión con partículas de carbón, tensión superficial y análisis micro estructural y análisis cualitativo de la interfase crudo agua en un periodo de dos semanas.

#### 2.5.1 Medición de precipitado

El precipitado de la emulsión con partículas de carbón se midió con una balanza analítica para cada una de las concentraciones de surfactante. Por lo que la estabilización de la emulsión crudo-agua con partículas se presentó en el punto creaming.

#### 2.5.2 Medición de la Tensión Superficial.

El procedimiento para medir la tensión superficial de las emulsiones es por capilaridad. Utilizando tubos capilares los cuales se sumergirán dentro de cada una de las emulsiones. Se medirá la altura en mm que asciende la emulsión por el capilar como lo muestra la Figura 2.3 y utilizando la fórmula de tensión superficial:

$$\gamma = \frac{1}{2} \rho g r h \dots \dots \dots (Ec. 2. 1)$$

$\gamma$ = tensión superficial (Newton/m)

$\rho$ =densidad de la emulsión ( $kg/m^3$ )

$g$ = gravedad (9.81 m<sup>2</sup>/s)

$r$ =radio del capilar ( $5 \times 10^{-4}$  m)

$h$ = altura (m)



Figura 2.3 Sistema de medición de capilaridad.

### **2.6 Análisis por Microscopio Óptico.**

Se analiza en un microscopio óptico marca Carl Zeiss con el software acoplado Axio Vision las emulsiones estabilizadas con partículas carbón activado y grafito con menor precipitación para determinar la microestructura del tipo de emulsión que se forma con el tamaño de las gotas en un intervalo de 100-20  $\mu\text{m}$ .



Figura 2.4. Microscopio Óptico Carl Zeiss.

# CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

---

## CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales obtenidos por las pruebas desarrolladas para las emulsiones de carbón activado y grafito se analizarán en este capítulo.

### 3.1 Estabilización de las emulsiones con carbón activado.

En esta experimentación se utilizó emulsiones con partículas de carbón activado como catalizador, a continuación se presenta una tabla comparativa con las diferentes molaridades del emulsificante y el precipitado obtenido.

Tabla 3.1 Estabilización de las emulsiones con carbón activado.

H2O g	Crudo g	Partículas de carbón g	Precipitado g	Emulsificante Molar
4.86	4.78	0.0289	5.00	0.01
4.76	4.40	0.027	4.37	0.025
5.9g	4.98	0.03	2.77	0.077
4.57	4.82	0.028	1.20	0.1
5.41	5.08	0.03	1.41	0.13

Utilizando el peso de precipitado y la concentración se realizó una gráfica, en la cual se puede observar que concentración favorece a un menor precipitado:

## CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

Discusión de resultados.

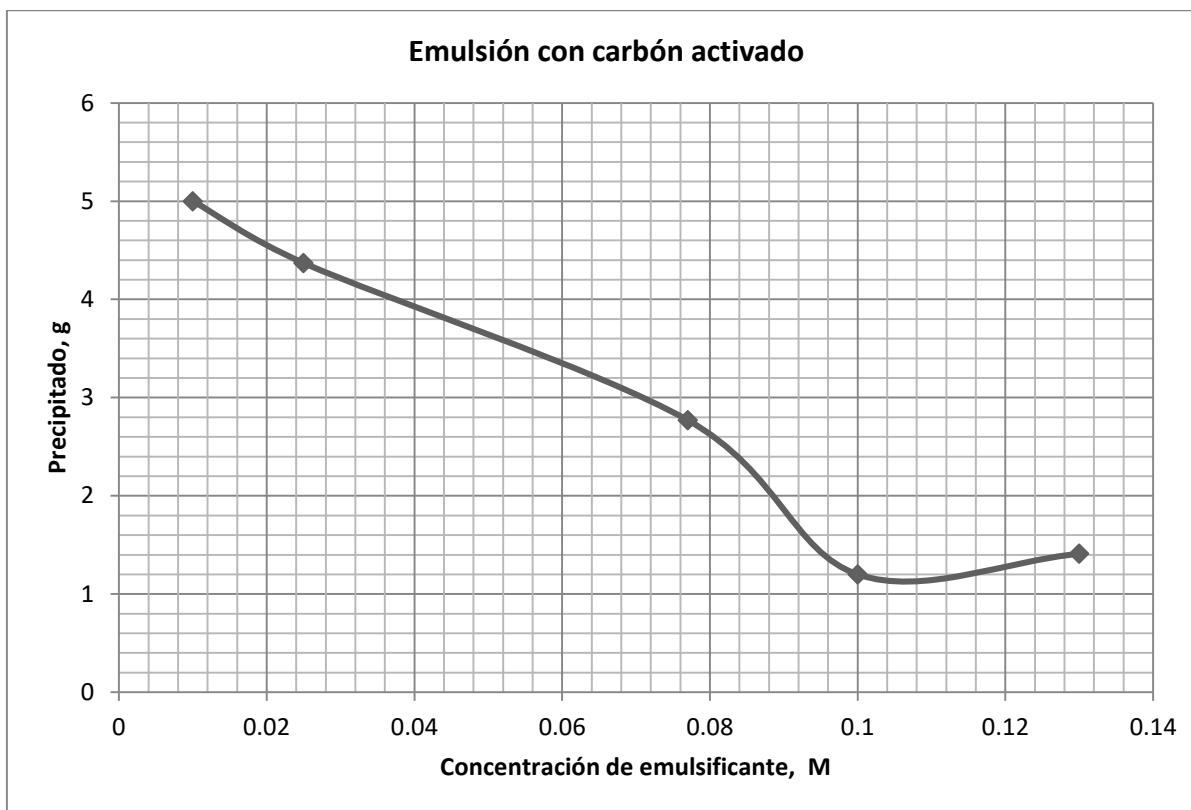


Figura 3.1 Efecto de la relación precipitado del crudo contra la concentración del emulsificante.

En la Figura 3.1 se muestra la concentración que más favoreció la experimentación en presencia de carbón activado la cual tiene una concentración de 0.1 M en la cual se utilizaron 8 gotas de emulsificante, la presencia de precipitado fue de 1.2 g de crudo, también se puede observar que con la concentración de 0.13 M en la cual se utilizaron 10 gotas de emulsificante el precipitado comienza a aumentar y esto nos conduce a una inestabilidad. Debido a que el precipitado incrementa poco con respecto a la concentración 0.1M.

## CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

---

### 3.2 Estabilización de las emulsiones con grafito.

En esta experimentación se utilizó grafito como nanocatalizador, a continuación se presenta una tabla comparativa con las diferentes molaridades del emulsificante y el precipitado obtenido.

Tabla 3.2 Estabilización de las emulsiones con grafito.

$H_2O$ (g)	Crudo (g)	Catalizador (g)	Precipitado (g)	Emulsificante Nonilfenol (M)
4.96	5.55	0.032	5.34	0.01
5.18	5.33	0.032	5.16	0.025
5.08	5.09	0.03	3.19	0.077
5.45	5.07	0.031	1.34	0.1
5.58	4.98	0.031	0.55	0.13

Ahora utilizando el peso de precipitado y la concentración se realizó la Gráfica 3.2, en la cual se puede observar que concentración favorece a un menor precipitado:



## CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

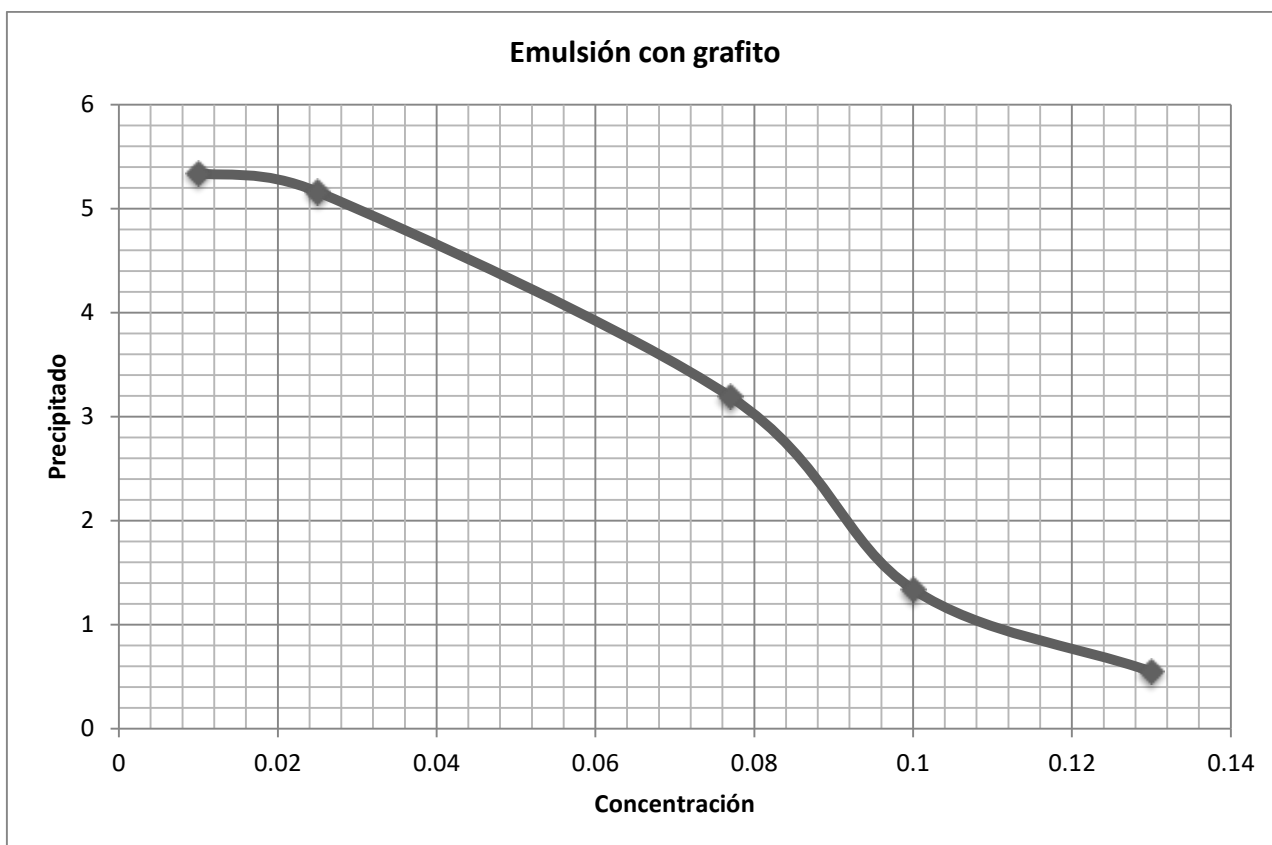


Figura 3.2 Efecto de la relación precipitado del crudo contra la concentración del emulsificante.

En la Figura 3.2 muestra que la concentración que más favoreció en la estabilización de la emulsión en presencia de grafito en este caso fue la de 0.13 M en la cual se utilizaron 10 gotas de emulsificante y la presencia de precipitado fue de 0.55 g.

Comparando ambos catalizadores con el de grafito se logró obtener un menor precipitado 0.55 g con una concentración 0.13 M (10 gotas) de emulsificante en comparación con el carbón activado que se obtuvieron 1.2 gramos con una concentración 0.1 M y 8 gotas de emulsificante, con esto se comprueba que el catalizador de grafito es el que precipita menos componentes del crudo pesado.

# CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

## 3.3 Tensión interfacial.

La tensión interfacial (TS) es medida por capilaridad donde los resultados fueron para cada una de las emulsiones con diferentes concentraciones de surfactante no iónico (Nonifenol etoxilado) con partículas de carbón y grafito (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Resultados de la altura de capilaridad en las emulsiones.

Emulsiones (M)	Capilar de emulsión con carbón (m)	Capilar de emulsión con grafito (m)
0.01	0.0001	0.0001
0.025	0.001	0.001
0.077	0.0065	0.0069
0.1	0.001	0.002
0.13	0.005	0.007

De acuerdo a la Figura 3.1 se obtuvo la ecuación de la tensión superficial ( $\gamma$ ) de

$$\rho gh = 2\gamma/2 \dots \dots \dots (\text{Ec. 3})$$

Donde la altura del capilar (h) relaciona la gravedad y la densidad de la emulsión.

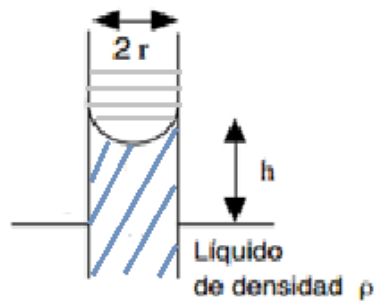


Figura 3. 3 Tensión superficial por capilaridad.

## CAPITULO III RESULTADOS EXPERIMENTALES

---

Tabla 3.4 Propiedades del crudo y el capilar.

Propiedad	Valor
Densidad ( $\rho$ )	$986 \frac{k}{m^3}$
Gravedad (g)	$9.83 \frac{m}{s^2}$
Altura del capilar (h)	0.007m
Radio del capilar $\text{®}$	0.001m

La tensión superficial es obtenida en la Tabla 3.5 con el procedimiento de la Figura 3.3 y los datos de las Tablas 3.3 y 3.4.

Tabla 3.5 Tensión superficial de las emulsiones.

Emulsiones (M)	TS de Emulsión con carbón ( $\frac{N}{m}$ )	TS de Emulsión con grafito ( $\frac{N}{m}$ )
0.01	$4.83 \times 10^{-4}$	$4.83 \times 10^{-4}$
0.025	$4.83 \times 10^{-3}$	$4.83 \times 10^{-3}$
0.077	$31.43 \times 10^{-3}$	$43.52 \times 10^{-3}$
0.1	$4.83 \times 10^{-3}$	$9.67 \times 10^{-3}$
0.13	$24.18 \times 10^{-3}$	$33.82 \times 10^{-3}$

### 3.4 Micrografía óptica de las emulsiones.

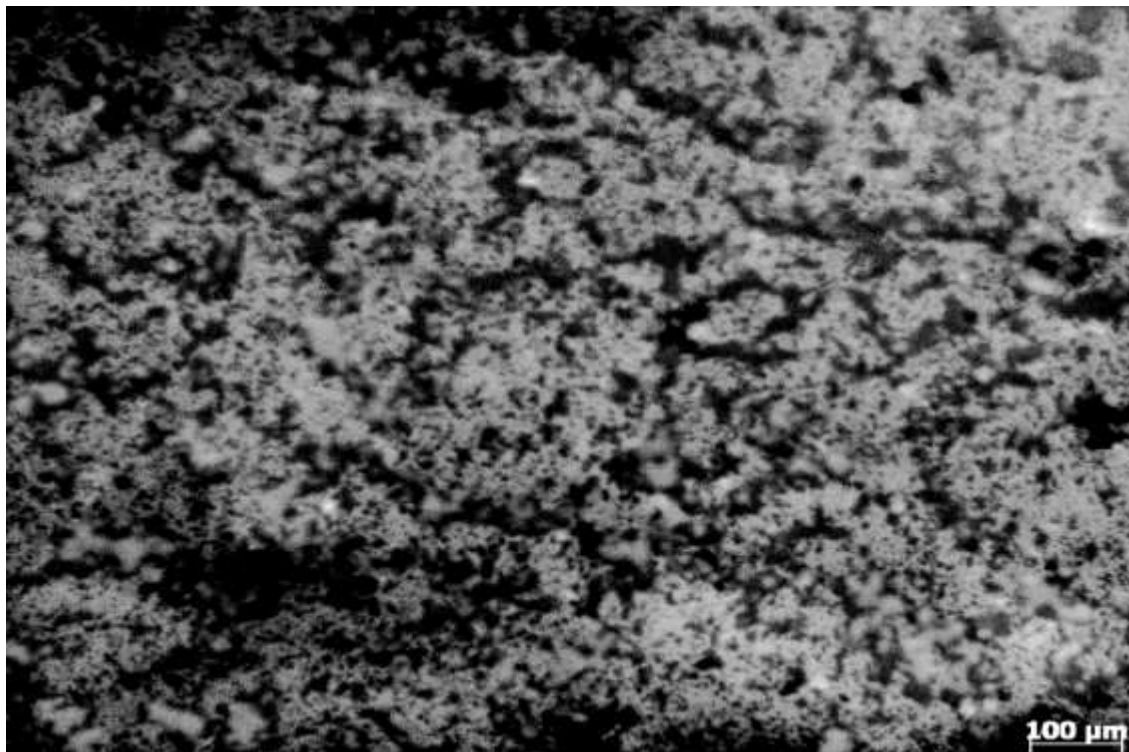


Figura 3.4. Microscopia emulsión de carbón activado 0.1 M.

En la Figura 3.4 se puede observar la dispersión de crudo en la emulsión, donde el emulsificante está totalmente disperso en la zona blanca y el crudo es la zona oscura. De esta forma se puede decir que la estabilización de la emulsión con partículas de carbón activado se logra en la forma de creaming.



Figura 3.5. Microscopia emulsión de grafito 0.1 M.

En la Figura 3.5 se puede observar la distribución gotas de crudo en la emulsión. La mayor cantidad de gotas de crudo son mayor a 50 micras, por lo que la estabilización de la emulsión con 0.1 M de emulsificante es lograda en un tiempo menor a 30 minutos.

### 3.5 Emulsiones con carbón activado.

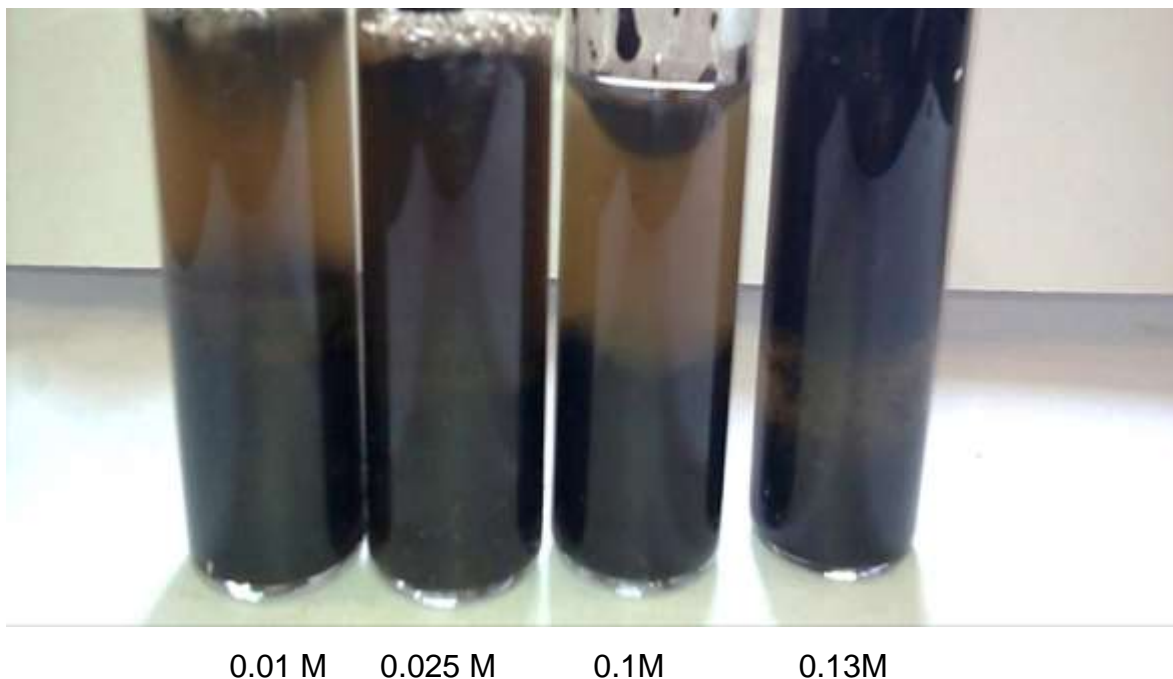


Figura 3.6 Emulsiones con carbón activado y concentración de surfactante 0.01-0.13M

Los resultados obtenidos en las emulsiones con carbón se muestran a través de la Figura 3.6 la cual presenta la concentración de emulsificante con la precipitación de crudo Ku-Maloob-Zap. El precipitado disminuye con el incremento del emulsificante, donde se pueden observar las interfaces crudo-agua es estable usando la mayor concentración de emulsificante de la forma “creming”. Como se pudo mostrar las emulsiones de carbón activado tienden a presentar sedimentación en un tiempo de 15 a 30 minutos.

### 3.6 Emulsiones con partículas de grafito.



0.01M

0.025 M

0.1M

0.13 M

Figura 3.7 Emulsiones con partículas de grafito de concentración de surfactante.

Los resultados obtenidos en las emulsiones con grafito se muestran a través de la Figura 3.7 la cual presenta la concentración de emulsificante con la precipitación de crudo Ku-Malooob-Zap, las emulsiones con partículas de grafito disperso las cuales presentan floculación separando el crudo de la emulsión en corto tiempo de 3 a 5 minutos por lo que la estabilización de la emulsión es muy breve. Así para una concentración alta de emulsificante de 0.1 M la mezcla alcanza la máxima estabilización.

### CONCLUSIONES

En este estudio experimental se estudió la estabilización de emulsiones de crudo pesado-agua utilizando partículas de carbón activado, grafito y un emulsificante no-iónico. Los resultados obtenidos fueron visibles y cuantitativos en la secuencia de los tipos de emulsiones crudo-agua y micro estructura de las emulsiones estabilizadas.

La emulsión con carbón activado resulto ser el más adecuado debido a que presentó una mayor estabilización y tensión interfacial menor con respecto a la emulsión con grafito. La microscopia de la emulsión presenta una mayor distribución de agua-crudo y emulsificante. En el tiempo la floculación y sedimentación presentaron buen equilibrio. Se encontró la concentración adecuada para la estabilización de la emulsión con carbón activado y grafito la concentración (0.1 M) resulto ser la más adecuada.

Las emulsiones con partículas de carbono demostraron ser una alternativa económica y funcional que pueden aplicarse a yacimientos de crudo pesado, mejoramiento de crudos pesados e incluso en la desemulsificación crudo-agua.

#### Recomendación

Este trabajo podría desarrollar nuevas líneas de investigación que se podrían realizar tales como:

El estudio del cracking catalítico de las emulsiones estabilizadas para convertir los hidrocarburos complejos en moléculas más simples para aumentar la calidad y cantidad de otros productos más ligeros y valiosos y así reducir la cantidad de residuos.

Desarrollo de nuevos combustibles a base de emulsiones con partículas de carbono.



---

## BIBLIOGRAFÍAS.

- [1] James G. Speight. (2002). Handbook of Petroleum Product and Analysis. New York: Wiley-interscience
- [2] Rafael Martínez Palou, Jesús Reyes, Ricardo Cerón Camacho, Mario Ramírez-de-Santiago, Diana Villanueva, Alba A. Vallejo, Jorge Aburto. (2015). Study of the formation and breaking of extra heavy crude oil in water emulsions. A proposed strategy for transporting extra heavy crude oils. Chemical Engineering and Processing 98. Pp.112–122.
- [3] Javier Feal Vázquez. (2008). El Mundo Actual del Petróleo. Boletín de Información del CESEDEN, 303, p.57-72
- [4] Gustavo Marroquín Sánchez, —Formación de Sedimentos Durante el Hidrotratamiento Catalítico de Crudos PesadosII, TESIS, Noviembre del 2007.
- [5] Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2013). Dictamen Técnico del Proyecto de Explotación Cantarell. 28 de noviembre de 2012, de Sener Sitio web: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109202/Cantarell.pdf>
- [6] Schubert, and Armbroster,(1992). Principles of Formation and Stability of Emulsions. Chemie Ingenieur Technik, 14.
- [7] S.F. Wong, J.S.Lim, S.S. Dol. (2015). A review on formation, classification and stability of water-in-oilemulsions. Journal of Petroleum Science and Engineering 135. pp. 498–504
- [8] Schubert, and Armbroster,(1992). Principles of Formation and Stability of Emulsions. Chemie Ingenieur Technik, 14.
- [9] Yin-Ting Hu, Yuwen Ting, Jing-Yu Hu, Shu-Chen Hsieh. (2017). Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. ScienceDirec. pp.16–26, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) Base de datos.
- [10] Bernard Binks, Alexandre Desforges, Daniel (December 6, 2006). “Synergistic Stabilization of Emulsions by a Mixture of Surface-Active Nanoparticles and Surfactant”. Langmuir 23, pp.1098–106.
- [11] Pilar Ruiz, Jimmy Faria, Min Shen, Santiago Drexler, Teerawit Prasomsri, Daniel E. Resasco, (2010, December 23). “Nanostructured Carbon–Metal Oxide Hybrids as Amphiphilic Emulsion Catalysts”. ChemSusChem.

---

[12] Udayana Ranatunga, Chuong Nguyen, Blake Wilson, Wataru Shinodab, Steven Nielsen. (2011, Jun 28).” Molecular dynamics study of nanoparticles and non-ionic surfactant at an oil–water interface”. *Soft Matter*, 1, pp. 6942–6952. 28 Jun 2011, De Soft Matter Base de datos

[13] Ahmad Tavasoli, Saba Karimi and Morteza Shoja. (2013, December). “Synthesis and application of CNT-supported MoO<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O nanocatalyst using microemulsion technique: role of nanoparticle size on catalyst activity and selectivity in higher alcohol synthesis”. *International Journal of Industrial Chemistry*, 3, pp.1–11. 02 March 2013, De Springer link Base de datos.

[14] Piyanart Sommani, Noppol Mankong, Tharapong Vitidsant, Anchaleeporn W. Lothongkum. (2013, July 24).Cracking of used vegetable oil mixed with polypropylene waste in the presence of activated carbon. *ASEAN Engineering Journal Part B*, 4, pp.16–24. ISSN 2286-7694.De ASEAN Engineering Journal Part B Base de datos.

[15] Ahmad Tavasoli, Somayeh Taghavi. (2013, Septiembre). Performance enhancement of bimetallic Co-Ru/CNTs nano catalysts using microemulsion technique. *Journal of Energy Chemistry*, 22, pp.747–754. De <http://www.jenergchem.org/EN> Base de datos.

[16] Rohallah Hashemi, Nashaat N, Nassar, Pedro Pereira Almaso. (2013). Enhanced Heavy Oil Recovery by in Situ Prepared Ultradispersed Multimetallic Nanoparticles: A Study of Hot Fluid Flooding for Athabasca Bitumen Recovery Energy Fuels. *Energy & fuels*, 27, pp.2194–2201.

[17] Hari Katepalli, Vijay John, Arijit Bose. (2013, May 21). The Response of Carbon Black Stabilized Oil-in-Water Emulsions to the Addition of Surfactant Solutions. *Langmuir*, 1, pp.6790–6797.

[18] Steven Crossley, Jimmy Faria, Min Shen, Daniel E. Resasco. (2010, Enero 01). Solid Nanoparticles that Catalyze Biofuel Upgrade Reactions at the Water/Oil Interface. *Science*, 327, pp. 68–72.

[19] Kewen Li, Binchi Hou, Lei Wang, Yi Cui. (2014, May 1.). Application of Carbon Nanocatalysts in Upgrading Heavy Crude Oil Assisted with Microwave Heating. *Nano Letters*, 14, pp.3002–3008.

[20] Ernesto Pérez Martínez, Ing. G Enrique Prado Morales, 2012, Desarrollo de Campos Marginales- Caso de Estudio: Campo Ku Maloob Zaap Formación Eoceno Medio, México, Ingeniería Petrolera, Vol. 53 No. 5.

# APENDICE

## ANALISIS DE MICROEMULSION EN UN MICROSCOPIO OPTICO

### MICROSCOPIO OPTICO

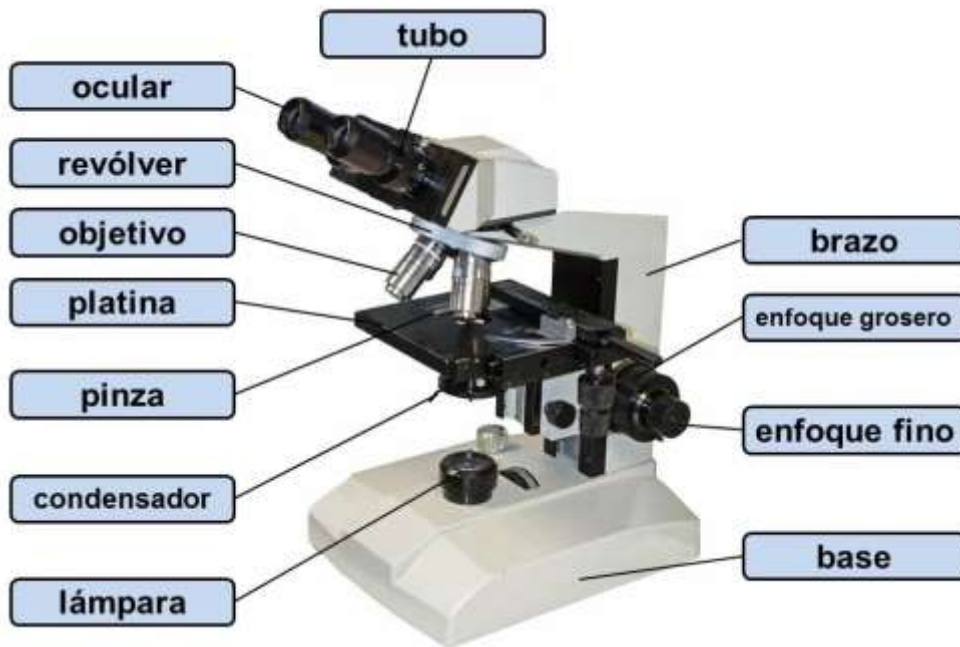


Figura 1. Microscopio óptico

La figura 1 muestra los componentes de un microscopio óptico, el cual se describen a continuación:

#### Ocular

Se trata del lente que se encuentra próximo al ojo del usuario, que es el lugar por donde el mira. Este lente es el que logra ampliar la imagen que se crea en los objetivos. Tipos de ocular Binoculares: que tienen dos oculares. Monocular: refiere a los que poseen un solo. Revólver Es en esta parte del microscopio donde el usuario puede cambiar y girar los objetivos, ya que llega a guardar los lentes objetivos. Los sistemas de lentes sociales, los cuales pueden ser dos: binoculares o monoculares, están dentro de la esfera. En pocas palabras, se trata de la cámara oscura del microscopio que contiene a los objetivos y el ocular. Se muestra junto al brazo, los cuales se unen a través de una cremallera que actúa para brindar un mejor enfoque.

#### Tubo óptico

Se trata de un tubo que permite acercar o alejar la imagen, donde para ello posee un tornillo macrométrico que al moverlo crea los enfoques, hasta un primer plano. A través de

este tornillo la persona puede realizar un movimiento bien rápido sea hacia arriba o hacia la platina. Soporte Es lo que mantiene la parte óptica. Está compuesto por dos partes: el brazo y la base o pie.

#### Brazo

Es lo que sostiene al tubo óptico, los tornillos de enfoque y la platina, lo cual hace esta acción por uno de sus extremos. Se muestra como una pieza metálica que por su forma curvada puede girar con gran facilidad. Posee en su extremo inferior diversas piezas. Diafragma Parte del microscopio encargada de controlar la cantidad de luz que incide en el condensador.

#### Condensador

Refiere al lente que unifica a todos los rayos que inciden en la sustancia a observar . En su parte inferior está el foco, que es otro condensador encargado de enviar al condensador los rayos luminosos. Foco Se encarga de enviar todos los rayos luminosos en dirección al condensador. Esta es la fuente de luz del microscopio.

#### Objetivo

Es un lente que se encuentra próximo a la platina o depósito de preparación, donde su función es ampliar la imagen acorde a los aumentos deseados para observar la muestra. Se encuentra localizada en el revólver y permite ver a través del ocular.

#### Pinzas de sujeción

Se trata de la parte empleada para agarrar la preparación. Estas pinzas suelen venir adosadas en microscopios modernos a un carro con dos tornillos, dando un avance transversal y longitudinal de la preparación.

#### Platina

Es el platillo o plataforma horizontal donde se coloca la sustancia que se desea observar. Esta posee una abertura en su centro de forma circular, que es por donde pasa la luz que procede desde el microscopio. Es en esta plataforma donde se coloca la preparación a observar, donde al pasar por ella los rayos que vienen de la fuente de iluminación ubicado abajo, da mayor visibilidad para el estudio de la preparación.

#### Tornillos de enfoque

Se trata de tornillos usados para enfocar, los cuales se encargan de mover el tubo o la platina sea hacia abajo o hacia arriba. Con este se logra conseguir un enfoque correcto y corto, siendo este micrométrico; o se puede conseguir una aproximación al enfoque con amplios desplazamientos, catalogándose como macrométrico. Cremallera Es la que permite

que tanto los tornillos micrométrico como macrométrico se muevan sea a menor o mayor amplitud.

Base

También se le conoce como pie. Es la parte que sirve como sustento del microscopio en su totalidad. Se encuentra en la parte inferior del microscopio y es lo que permite al microscopio mantenerse de pie.

Procedimiento del análisis de microemulsión en el microscopio óptico

1. Montar la muestra en el escenario
2. Optimizar la luz
3. Ajustar el condensador
4. Buscar la dispersión de las gotas de la emulsión en la interface
5. Enfocar, ubicar y centrar la muestra
6. Ajustar la separación del ocular
7. Seleccione un lente objetivo para ver
8. Ajuste de iluminación para la lente objetivo

Dispersión de microemulsión estable

La distribución de las gotas de crudo en agua y agua en crudo pueden observarse en la Figura 2 encontrada en la literatura y se pueden comparar con las emulsiones del presente trabajo.

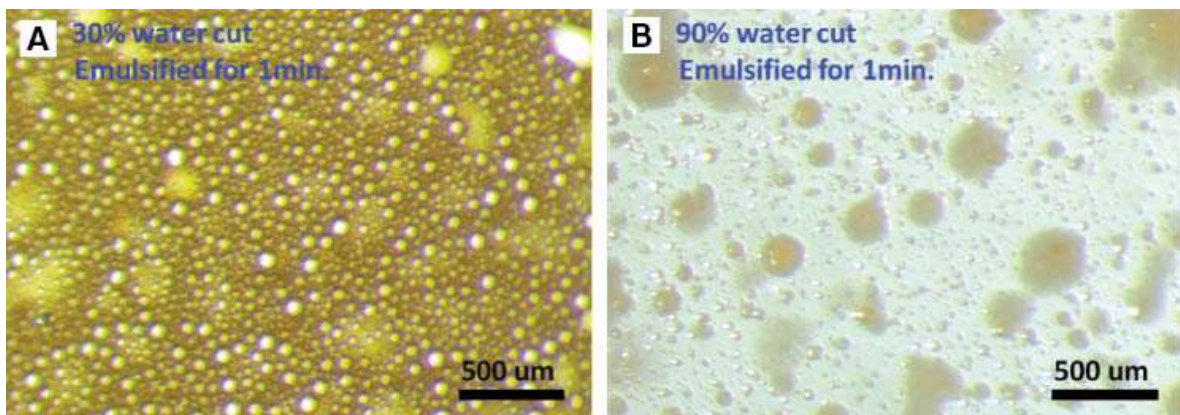


Figura 2: Microestructuras típicas de (A) una emulsión w / o y (B) una emulsión o / w. (Abdel-Raouf, 2012)