



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DE LA RESINA DE ACEITE DE ÁRBOL (*COPAIFERA
OFFICINALIS*) COMO AGENTE DISPERSANTE DE ASFALTENOS**

REALIZADO POR:

**ANCE KARINA RODRÍGUEZ CABELLO
SCARLETH NATHALY GASPAR GONZÁLEZ**

**Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de:**

INGENIERO DE PETRÓLEO

Maturín, Diciembre de 2012



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA

EVALUACIÓN DE LA RESINA DE ACEITE DE ÁRBOL (*COPAIFERA OFFICINALIS*) COMO AGENTE DISPERSANTE DE ASFALTENOS

REALIZADO POR:
ANCE KARINA RODRÍGUEZ CABELLO
C.I. 18.653.648
SCARLETH NATHALY GÁSPAR GONZÁLEZ
C.I. 17.707.996

REVISADO POR:

ING. TOMÁS MARÍN
Asesor Académico

Maturín, Enero de 2013

ACTA DE APROBACIÓN

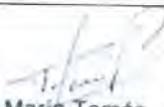




UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA

EVALUACIÓN DE LA RESINA DE ACEITE DE ÁRBOL (*COPAIFERA OFFICINALIS*) COMO AGENTE DISPERSANTE DE ASFALTENOS

REALIZADO POR:

ANCE KARINA RODRÍGUEZ CABELLO
SCARLETH NATHALY GASPAR GONZÁLEZ

 Ing. Marín Tomás TUTOR	
 Dr. Fernando Pino Jurado principal	 ING. MARÍA GARCÍA Jurado principal

Maturin; Marzo 2013

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.



ÍNDICE

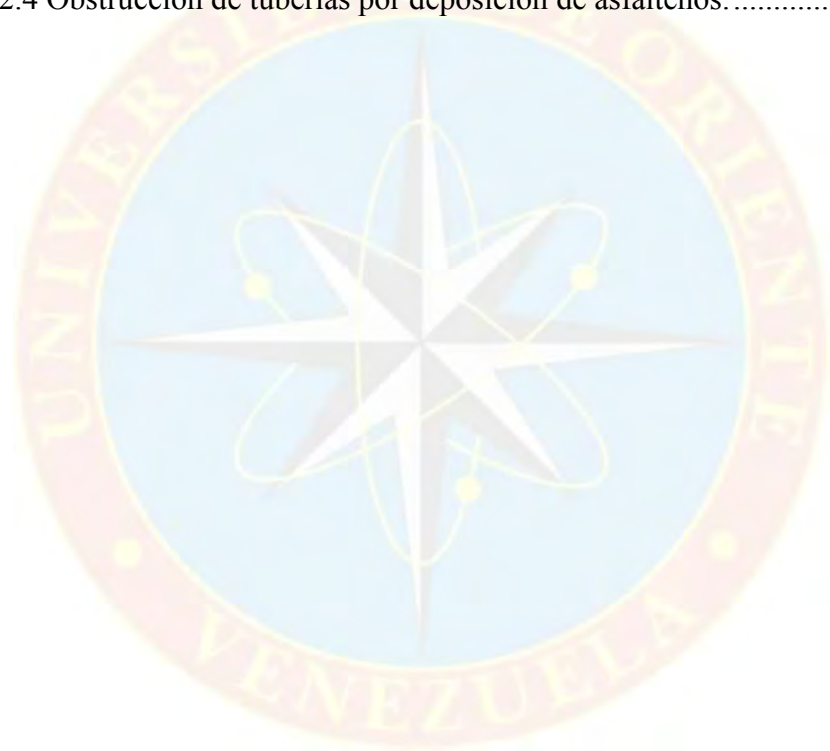
ACTA DE APROBACIÓN	iii
RESOLUCIÓN.....	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Asfaltenos	8
2.2.2 Composición de los asfaltenos	9
2.2.3 Características de los asfaltenos	10
2.2.4 Teorías sobre el comportamiento de los asfaltenos.....	11
2.2.4.1 Teoría molecular.....	11
2.2.4.2 Teoría coloidal	12
2.2.5 Solubilidad de los asfaltenos	13
2.2.6 Estabilidad de los asfaltenos.....	14
2.2.7 Floculación de los asfaltenos.....	15
2.2.8 Umbral de floculación de los asfaltenos.....	15
2.2.9 Deposición de los asfaltenos.....	16
2.2.10 Factores que originan la Deposición de Asfaltenos.....	17
2.2.10.1 Cambios de composición en los fluidos del yacimiento.....	17
2.2.10.2 Efectos de la temperatura.....	18
2.2.10.3 Efectos de la Presión.....	19
2.2.10.4 Por efecto del movimiento.....	20
2.2.10.5 Efecto de segregación gravitacional	21
2.2.10.6 Efecto de la electrodeposición	21
2.2.10.7 Inyección de fluidos.....	22
2.2.10.8 Otros factores.....	22

2.2.11 Problemas ocasionados por deposición y/o precipitación de asfaltenos.....	23
2.2.11.1 Taponamiento del Yacimiento.....	23
2.2.11.2 Taponamiento en la cara de la formación.....	24
2.2.11.3 Taponamiento de la tubería de producción.....	24
2.2.11.4 Taponamiento en las instalaciones de superficie.....	25
2.2.12 Dispersantes.....	26
2.2.13 Dispersantes de asfaltenos.....	27
2.2.14 Xileno.....	27
2.2.14.1 Procedencia del xileno.....	28
2.2.14.2 Aplicaciones del xileno.....	28
2.2.14.3 Toxicología del xileno.....	28
2.2.15 Heptano.....	29
2.2.15.1 Usos del heptano.....	29
2.2.15.2 Escala de Octanaje del heptano.....	29
2.2.16 <i>Copaifera officinalis</i>	30
2.2.17 Composición química de resina del aceite de árbol.....	30
2.2.18 Composición de ácidos grasos y datos fisicoquímicos.....	31
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
CAPÍTULO III.....	34
MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	35
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	36
3.6.1 Caracterización del aceite y las dos muestras de crudo en función de la gravedad API, densidad, viscosidad, porcentaje de asfalteno.....	36
3.6.1.1 Determinación de la gravedad API de las muestras seleccionadas.....	36
3.6.1.2 Determinación de la densidad de las muestras por el método del picnómetro.....	37
3.6.1.3 Determinación de la viscosidad a través del viscosímetro Brookfield.....	38
3.6.2 Caracterización de la resina mediante la destilación del aceite de árbol en función de la gravedad específica, densidad, viscosidad.....	39
3.6.2.1 Obtención de la resina.....	39
3.6.2.2 Obtención de la resina del aceite de árbol (<i>Copaifera officinalis</i>) mediante destilación atmosférica.....	40
3.6.3 Determinación del umbral de floculación de las muestras de crudo originales mediante la titulación con n-parafina (heptano) y la capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado.....	40

3.6.3.1 Umbral de Floculación.....	40
3.6.3.2 Capacidad de dispersión	41
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.8 RECURSOS	45
3.8.1 Recursos Humanos	45
3.8.2 Recursos Financieros.....	45
3.8.3 Recursos Materiales y bibliográficos	46
CAPÍTULO IV	47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	47
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE Y DOS MUESTRAS DE CRUDO EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD API, DENSIDAD, VISCOSIDAD, PORCENTAJE DE ASFALTENOS	47
4.1.1 Determinación de la gravedad API de las muestras seleccionadas (Método del hidrómetro por la norma COVENIN 883 o ASTM D – 287)	47
4.1.2 Prueba Estándar para Determinar la Densidad del Petróleo Crudo y sus Derivados (Método del Picnómetro).....	48
4.1.3 Prueba Estándar para Determinar la Viscosidad a Través del Viscosímetro Brookfield.....	49
4.1.4 Prueba para la Cuantificación de Asfaltenos en los Crudos Aplicando el Método del Refractómetro	49
4.1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA MEDIANTE LA DESTILACIÓN DE ACEITE DE ÁRBOL EN FUNCIÓN DE LA VISCOSIDAD, DENSIDAD Y LA GRAVEDAD ESPECÍFICA	50
4.2 DETERMINACIÓN DEL UMBRAL DE FLOCULACIÓN DE LAS MUESTRAS ORIGINALES, MEDIANTE LA TITULACIÓN CON N-PARAFINA (HEPTANO) Y LA CAPACIDAD DE DISPERSIÓN DE ASFALTENO DEL PRODUCTO QUÍMICO PREPARADO	51
4.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DISPERSIÓN DE ASFALTENOS DEL PRODUCTO QUÍMICO PREPARADO	52
4.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DISPERSIÓN MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS DOS SUSTANCIAS XILENO Y PRODUCTO QUÍMICO	56
CAPÍTULO V.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1 CONCLUSIONES.....	64
5.2 RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
APÉNDICES.....	70
HOJAS METADATOS.....	95

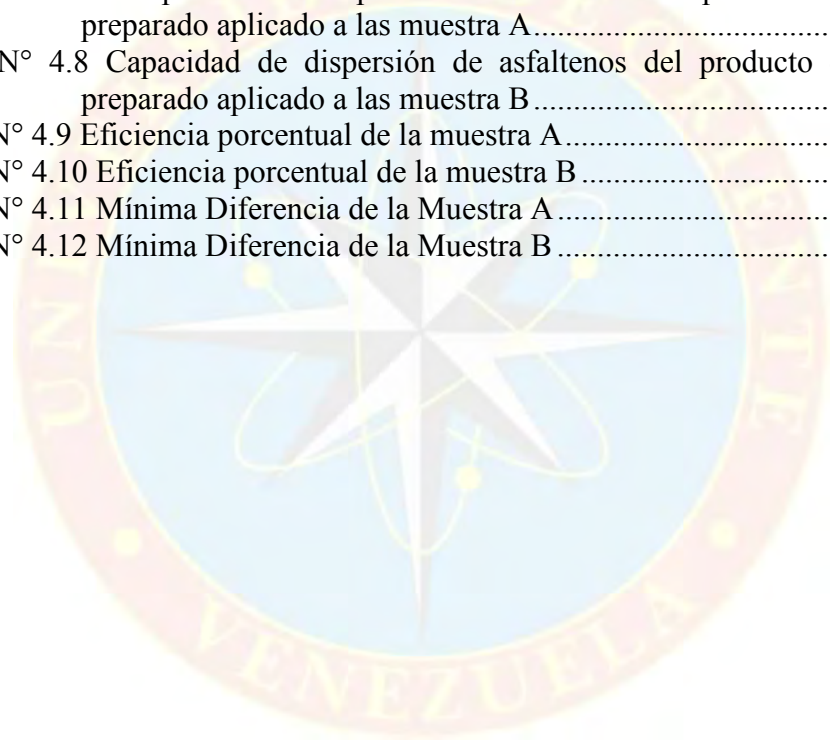
LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estructura molecular del asfalto.....	9
Figura 2 Disposición de los asfaltos en el crudo según el modelo termodinámico molecular.....	12
Figura 2.1 Disposición de los asfaltos en el crudo según el modelo termodinámico coloidal.....	13
Figura 2.2 Fenómeno de Agregación de Asfaltos.....	16
Figura 2.3 Efecto de la presión sobre la floculación de asfaltos.....	20
Figura 2.4 Obstrucción de tuberías por deposición de asfaltos.....	25



LISTA DE TABLAS

Tabla N° 4.1 Gravedad API para cada muestra de crudo.....	47
Tabla N° 4.2 Densidad de cada una de las muestras a temperatura ambiente	48
Tabla N° 4.3 Viscosidad de las muestras estudiadas.....	49
Tabla N° 4.4 Porcentaje de asfaltenos de cada una de las muestras en función al índice de refracción	49
Tabla N° 4.5 Características de la resina de aceite de árbol	50
Tabla N° 4.6 Umbral de floculación de las muestras.....	51
Tabla N° 4.7 la capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado aplicado a las muestra A.....	52
Tabla N° 4.8 Capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado aplicado a las muestra B.....	54
Tabla N° 4.9 Eficiencia porcentual de la muestra A.....	56
Tabla N° 4.10 Eficiencia porcentual de la muestra B.....	58
Tabla N° 4.11 Mínima Diferencia de la Muestra A.....	60
Tabla N° 4.12 Mínima Diferencia de la Muestra B.....	61





UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/ MONAGAS/ VENEZUELA

**EVALUACIÓN DE LA RESINA DE ACEITE DE ÁRBOL (*COPAIFERA OFFICINALIS*)
COMO AGENTE DISPERSANTE DE ASFALTENOS**

Autora:
Ance Karina Rodríguez Cabello
C.I. 18.653.648
Scarleth Nathaly Gaspar González
C.I. 17.707.996
Fecha: Diciembre de 2012

Asesor Académico:
Ing. Marín Tomás

RESUMEN

Los asfaltenos son fracciones de alto peso molecular que se encuentran presentes en el crudo en suspensión coloidal, gracias a la presencia de agentes peptizantes como lo son las resinas, dichas fracciones al ser sometidas a algún desequilibrio termodinámico, mecánico, condiciones composicionales o régimen de flujo, tienden agruparse, formar flóculos y puede llegar a producirse su precipitación, representando uno de los problemas más relevantes a nivel de producción que afecta a muchos campos petroleros de gran potencial en el país. Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de evaluar el uso de la resina del árbol de aceite (*Copaifera officinalis*) como agente dispersante de asfaltenos, para lo cual se obtuvo la resina del aceite de árbol a través de un rotoevaporador, posteriormente se elaboraron (8) productos químicos en base a la mezcla de solvente orgánico (xileno) y resina del árbol de aceite, las dos muestras de crudo seleccionadas para el estudio son provenientes del Norte del Estado Monagas, a las cuales se les realizó su caracterización y determinación del umbral de floculación a través del método óptico, las dos muestras de crudos fueron dosificados con los productos químicos y se determinó la capacidad de dispersión para cada uno estableciendo su eficiencia, comparándose con la capacidad de dispersión del solvente orgánico comercial (xileno). Entre los resultados más relevantes obtenidos se tiene que la aplicación del producto químico en base a resina del árbol de aceite aplicado a las muestras de crudo, generaron una variación positiva en la capacidad de dispersión del producto químico a medida que se incrementó la dosis aplicada visualizándose a partir de concentraciones de 20% para la muestra A y de 35% en la muestra B, siendo un factor determinante las características composicionales de la muestra y el tiempo de contacto de la misma al producto químico.

INTRODUCCIÓN

En la historia petrolera muchos de los problemas operacionales han sido causados por la precipitación de asfaltenos, estos, se definen como la fracción de crudo insoluble en solventes alifáticos de bajo peso molecular, como n-pentano y n-heptano, que existen en un estado de agregación en suspensión donde están rodeados y estabilizados por resinas (agentes peptizantes); las cuales comprenden aquellas fracciones que se solubilizan cuando el petróleo se disuelve en un n-alcano, pero se absorbe en un material activo superficialmente; son oscuras, semisólidas, muy adhesivas, de peso molecular alto, y su composición depende del precipitante empleado.

Básicamente lo que causa que las fracciones de crudo sean depositadas es un cambio en la solubilidad de las mismas, dichos cambios se deben a alteraciones del balance termodinámico que mantienen las moléculas que lo conforman en suspensión; factores como, presión, temperatura y composición del crudo son los principales parámetros que controlan dichos cambios, la deposición de asfaltenos se pone de manifiesto en todas las fases de producción, transporte y procesamiento de petróleo, por lo que es considerado un problema de peso, causando daños a lo largo de todo el camino que recorre el crudo afectando a la formación, pozos, equipos y accesorios de superficies.

Los asfaltenos son solubles en solventes aromáticos como benceno. Tolueno o xileno y son insolubles en parafinas lineales como n-hexano y n-heptano, los cuales son considerados como agentes peptizantes de los mismos siendo el último el más utilizado a nivel de laboratorio. Los cambios de solubilidad de estos crea la tendencia de los mismos a formar flóculos; por lo que su análisis debe enfocarse en evaluar su estabilidad coloidal, y como se ve modificada por el medio que rodea.

En investigaciones anteriores, la estabilidad de los asfaltenos en el crudo ha sido asociada con la tendencia que presentan las resinas a rodear e interactuar con los coloides de asfaltenos y así mantenerlos dispersos en el crudo, por lo que resultó interesante el estudio del efecto de la resina de árbol de aceite (*copaifera officinalis*) como dispersante. Por tal motivo este trabajo de investigación estuvo orientado a la evaluación de la eficiencia del uso de la resina del árbol en comparación con la utilización del xileno como dispersante.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La deposición de los asfaltenos puede presentarse en cualquier momento de la vida productiva de un pozo, (Galeana, C, 2003), especialista del Instituto Mexicano del Petróleo, la vida productiva oscila alrededor de 30 años, tiempo en el que este problema se puede presentar en cualquier instante, incluso existen registros de pozos petroleros que experimentaron el problema de deposición de asfaltenos en el mismo momento que iniciaron su producción. Existen casos típicos en algunos pozos en los que las cifras de producción se reducen hasta la mitad o menos, lo que se traduce en pérdidas anuales de varios millones de dólares por pozo. (Galeana C, 2003).

Además de esta, trascendental dificultad, la industria del petróleo enfrenta otro grave problema estrechamente relacionado a ella; la debacle de los precios de petróleo (con presencia de asfaltenos) a nivel internacional esta situación tiene particular importancia para países cuyas reservas de petroleras son netamente clasificadas como pesados o extrapesados la razón, es muy simple, puesto que mientras más pesado sea un hidrocarburo menor rendimiento tendrá ; por sólo mencionar un ejemplo se establece que mientras el crudo Itsmo (uno de los crudos mas livianos que existen) se obtiene un rendimiento directo de 26% volumétrico de gasolina en el Maya (petróleo caracterizado por su alta viscosidad y su enorme cantidad de asfaltenos) sólo se obtiene un 15,7% ; por lo tanto el precio de este último cae considerablemente en el mercado mundial, al grado tal que constituye el petróleo más barato del mundo y todo esto por la presencia de asfaltenos, que aparentemente lo único que hacen es obstaculizar los procesos de destilación y procesamientos de crudo.(Galeana, C, 2003).Cabe destacar que los problemas de precipitación de

asfaltenos son más propensos en crudos medianos y livianos, como es el caso de la República Bolivariana de Venezuela donde se han venido presentando problemas de taponamiento por asfaltenos en este tipo de crudo, buscando alternativas para prevenir estas circunstancias, actualmente existen muchos compuestos químicos que permiten mantener dispersos los asfaltenos en el petróleo y así evitar que estos precipiten ocasionando inconvenientes en cualquier punto del sistema de producción, de aquí la importancia de determinar el umbral de floculación de dichos compuestos para prevenir estas situaciones que pueden llegar a paralizar todo un sistema.

Frente a esto, y tomando en cuenta que en una investigación anterior se demostró que la resina del aceite de árbol copaiifera no actúa como agente inhibidor de los asfaltenos (Leonett, M y Benítez, Z, 2011) se plantea utilizar resina del aceite de árbol como una alternativa que permita utilizarla como agente dispersante.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la resina derivada de árbol de aceite (*Copaifera officinalis*) como agente dispersante de asfaltenos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el aceite y dos muestras de crudo en función de la gravedad API, densidad, viscosidad, porcentaje de asfaltenos.
- Caracterizar la resina mediante la destilación del aceite de árbol en función de la gravedad específica, densidad, viscosidad.

- Determinar el umbral de floculación de las muestras originales, mediante la titulación con n-parafina (heptano) y la capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado.
- Determinar la eficiencia de dispersión del producto mediante la realización de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las dos sustancias (xileno y producto químico).

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Durante la producción de crudo se originan cambios de presión, temperatura, y composición que pueden alterar de manera significativa su estabilidad coloidal, modificando su solubilidad, lo que los induce a la deposición de asfaltenos. A causa de este fenómeno se generan numerosos inconvenientes que implican importantes pérdidas económicas para la industria petrolera, como son: daños en yacimiento, reducción de la productividad de los pozos, taponamiento de tubería, entre otros. Por tal motivo los asfaltenos han sido objeto de estudio por más de medio siglo, en la búsqueda de la solución al problema. Particularmente, debido a la tendencia que presentan a agregarse y formar flóculos, por lo que diversos estudios han sido enfocados en evaluar su estabilidad coloidal y como se ve modificada por el medio que lo rodea, empleándose como parámetros de estabilidad el umbral de floculación, el cual presenta una medida del inicio de la formación de flóculos de asfaltenos, en función de la calidad del agente precipitante para que esto ocurra. (Leonett, M y Benítez, Z, 2011).

En estudios realizados, la estabilidad de los asfaltenos en los crudos han estado asociados al hecho de que se encuentran rodeadas de resinas que interactúan con los coloides de estos y así se mantienen dispersos en el crudo, por lo que resulta

interesante el estudio del efecto de la resina de aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) como dispersante de asfaltenos, comparando su eficiencia con el xileno.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Kawanaka y otros (1989) realizaron un estudio donde se demostró la importancia de conocer cuándo y cómo los asfaltenos floculan bajo condiciones de operación. Ellos establecieron que la determinación exacta del umbral de floculación de los asfaltenos se requiere a fin de probar la existencia de los modelos teóricos. Varios métodos han sido utilizados para determinar el umbral de floculación y deposición de los asfaltenos con varios grados de exactitud y dificultad. En este sentido Hirschberg (1984) realizó un estudio del Método Visual, el cual está basado en la utilización de un microscopio con luz para detectar visualmente el umbral de floculación.

García, C. y Moreno, S. (2005), realizaron el diseño de un equipo para la medición de la precipitación de asfaltenos y la evaluación de productos químicos inhibidores/dispersantes bajo condiciones de operación. Los métodos estudiados fueron: el método visual para la determinación del umbral de floculación utilizando n-parafina y observando los floculos en un microscopio, además del método de centrifugación para cuantificar la masa de asfaltenos sin y con la aplicación de productos químicos inhibidores/dispersantes. Como resultados se tuvo que los métodos arrojan valores muy cercanos a los que se tienen en campo en cuanto a las dosis a aplicar, logrando determinar la dosis mínima para que el producto comience a tener actividad sobre la precipitación, siendo la diferencia dos galones por día (2 GPD) entre las dosis de laboratorio y las de campo.

Lara, E. (2010). (**Evaluación del uso de resinas de sábila como inhibidor de la floculación de asfaltenos**). Para ello se obtuvo la resina de sábila a través de la técnica del acíbar líquido natural; luego, elaboró ocho productos químicos en base a solvente orgánico y resina de sábila. El método utilizado para la determinación del umbral de floculación de los crudos fue el método óptico utilizando n-heptano como agente precipitante y observando los asfaltenos floculados con el microscopio. Estos fueron dosificados con los productos químicos y se le determinó el umbral de floculación. Para establecer la eficiencia del producto químico, éste se comparó con dos inhibidores comerciales. Se obtuvo como resultado más importante que la aplicación del producto químico en base a Aloe Vera ejerce un efecto sobre el umbral de floculación de los asfaltenos causando el aumento del mismo como consecuencia de la estabilización de las muestras, siendo el tiempo de exposición un factor determinante.

Leonett, M. Benítez, Z (2011). (**Evaluación del uso de resina del árbol de aceite (*Copaifera officinalis* como agente inhibidor de asfaltenos)**). A nivel de laboratorio, fue probado la resina de árbol de aceite aplicándolos a diferentes tipos de crudos como inhibidor de la floculación de los asfaltenos, se observó que el producto no se comportó como un inhibidor de la floculación, sino como un precipitante de asfaltenos, es decir en lugar de aumentar el valor obtenido del umbral de floculación en la muestra original lo disminuyó ocasionando así una desestabilización en las muestras de asfaltenos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Asfaltenos

Los asfaltenos, son moléculas grandes de naturaleza principalmente aromáticas poli condensadas, formados por la unión de anillos bencénicos, con constituyentes

nafténicos y parafínicos. Estos contienen heteroátomos como Azufre (S), Nitrógeno (N), Oxígeno (O), y metales como Níquel (Ni), y Vanadio (V), su peso molecular oscila entre 5×10^2 a 10^3 (g/gmol). Se definen como fracciones que se encuentran en el crudo, solubles en solventes aromáticos como el benceno, tolueno y xileno, pero insoluble en n-alcános de cadena corta (bajo peso molecular), como por ejemplo el n-pentano, y pueden ser derivados del petróleo y/o carbón .Kokal y Sayegh. (1995).

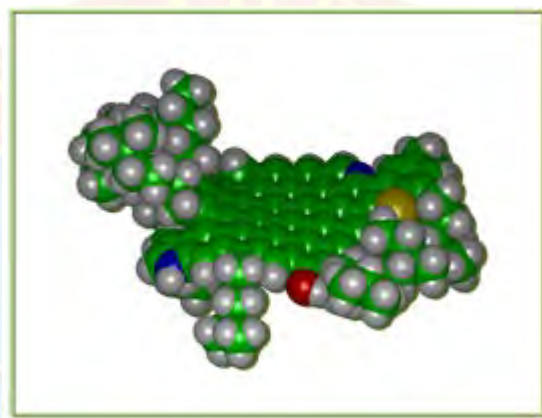


Figura 1 Estructura molecular del asfalteno

Fuente: Marín R (2000)

2.2.2 Composición de los asfaltenos

Los asfaltenos físicamente son sólidos friables de color marrón oscuro a negro con un punto de fusión no definido. Ellos se descomponen por calentamiento, se funden y por posterior enfriamiento se resolidifican. Son compuestos polidispersos en grupos funcionales, peso molecular y estructura. Kokal y Sayegh. (1995). El contenido de compuestos aromáticos en los asfaltenos está entre 40-60 %, con una relación atómica H/C de 1-1.2. Un alto porcentaje de los anillos aromáticos están conectados en la estructura intermolecular, y por esta razón las moléculas de asfaltenos presentan formas aplanadas.

Los heteroátomos mayormente encontrados en asfaltenos de diferentes crudos son azufre (S), nitrógeno (N) y oxígeno (O). El nitrógeno se encuentra más como parte de los conjuntos aromáticos, mientras que el oxígeno y el azufre forman puentes entre ellos en una estructura cíclica o lineal. El azufre existe predominantemente como heterociclos teofénicos (típicamente de 65-85%) con el resto en grupos sulfídicos. El nitrógeno se relaciona con los grupos pirrólicos, piridínicos y quinólicos, siendo el grupo dominante el pirrolico. Los grupos relacionados con el oxígeno son hidróxilico, carbonilo, carboxílico, y éter. En algunos crudos se han determinado átomos metálicos, principalmente níquel (Ni) y vanadio (V); como ejemplo se tiene el crudo Boscan venezolano, en el cual se han encontrado proporciones de 1200 ppm en Vanadio y 150 ppm en Níquel.

2.2.3 Características de los asfaltenos

Según Kokal y Sayegh. (1995) establece que los asfaltenos poseen las siguientes características:

- Sólidos de apariencia marrón- negruzco.
- Solubles en compuestos aromáticos tales como: benceno, tolueno y xileno; además son solubles en sulfuro de carbono y ligeramente solubles en éter y acetona.
- Son compuestos aromáticos policondensados.
- De naturaleza atmosférica.
- Densidad: 0,95-1,2 g/ml.
- Son la fracción del petróleo insoluble en n-parafina de bajo peso molecular, tales como: propano, butano, pentano, hexano y heptano.
- Fracción de mayor polaridad y mayor peso molecular.

- Tamaño de partículas:
 - No floculado: 20- 350 Å.
 - Floculado: 4.500 Å.

2.2.4 Teorías sobre el comportamiento de los asfaltenos

Según los estudios realizados sobre las condiciones bajo las cuales los asfaltenos se encuentran presentes en el crudo, se destacan dos teorías:

- Teoría Molecular: considera que los asfaltenos están disueltos en el crudo al igual que el resto de las moléculas.
- Teoría Coloidal: considera que los asfaltenos están presentes en el crudo formando una dispersión coloidal.

2.2.4.1 Teoría molecular

Uno de los primeros esfuerzos para predecir el comportamiento de fase de los asfaltenos a partir de un modelaje termodinámico molecular fue publicado por Fussel (1979). Su modelo estuvo basado en la ecuación de estado de Redlich-Kwong. Fussel, consideró a los asfaltenos floculados como una fase líquida pesada en equilibrio termodinámico con la fase de vapor y de líquido livianos en el sistema.

El trabajo de Fussel fue seguido por Hirschberg y colaboradores, los cuales propusieron en 1984, un modelo el cual describe el fenómeno de la precipitación de los asfaltenos mediante el equilibrio termodinámico líquido de una mezcla de dos pseudocomponentes (asfaltenos-crudo), en donde, estos son considerados moléculas monodispersas en el crudo, como resultado de las teorías de polímeros como por

ejemplo, el modelo de Flory-Huggins. (1953), usado para describir el comportamiento molecular de los asfaltenos sometidos a cambios de presión, temperatura y composición. El principal concepto de esta teoría, la que la separa del modelo coloidal, es que los asfaltenos están disueltos en el crudo como cualquier otra molécula.

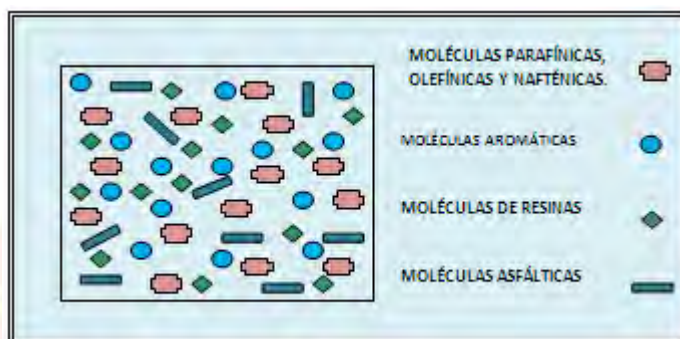


Figura 2 Disposición de los asfaltenos en el crudo según el modelo termodinámico molecular

Fuente: Hirschberg y colaboradores

2.2.4.2 Teoría coloidal

Esta teoría ha sido propuesta por Leontaritis y Mansoori (1987); esta considera que los asfaltenos se encuentran suspendidos coloidalmente en el crudo, debido a una capa estabilizante de resinas altamente polares que actúan como agentes peptizantes rodeando su superficie, con lo cual impiden que los asfaltenos se unan entre sí y precipiten.

Ellas son adsorbidas por los asfaltenos y actúan como capas protectoras. Estas resinas y asfaltenos juntos son llamadas micelas, las cuales constituyen entidades moleculares separadas del crudo y sujetas a todo cambio termodinámico. La adición de una adecuada cantidad de floculante, por ejemplo n-pentano, causa la destrucción de las micelas y puede resultar en una floculación irreversible.

La teoría considera que los asfaltenos llevan cargas intrínsecas que pueden ser positivas o negativas dependiendo de la composición del crudo, y que éstos se encuentran dispersos en el mismo gracias a la presencia de resinas, ya que existe un segmento de la misma que permanece en contacto con el resto del crudo (parafinas, naftenos y aromáticos) y entre estos segmentos existen fuerzas repulsivas que son las responsables de mantener las partículas de asfaltenos en suspensión.

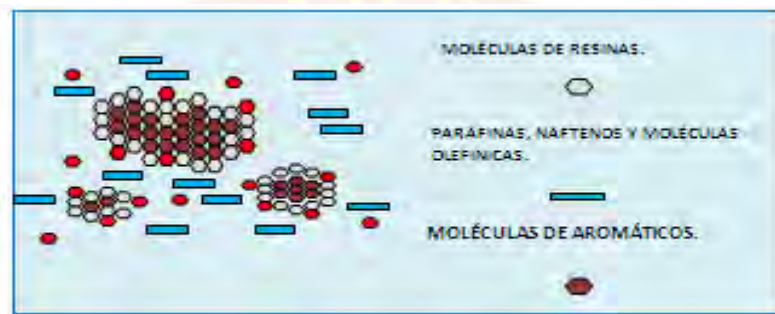


Figura 2.1 Disposición de los asfaltenos en el crudo según el modelo termodinámico coloidal

Fuente: Leontaritis y Mansoori (1987)

2.2.5 Solubilidad de los asfaltenos

La solubilidad del asfalto es compleja, debido a que en presencia de alcanos líquidos de bajo peso molecular pueden producir condiciones de enucleación, aglomeración y/o precipitación del asfalto como sólido o pseudo-sólido, sobre todo en crudos pesados y ésta depende esencialmente de las condiciones termodinámicas que existen en el yacimiento. Sin embargo, en presencia de solventes aromáticos (Tolueno, Benceno y Xileno) se produce disolución de las partículas de asfaltenos.

Cuando se mencionan los trabajos más relevantes sobre la deposición de asfaltenos se refieren a los de Burke N, Ronald E. y Sanir (1988), los cuales sostienen que si se reduce la presión en un crudo a temperatura de yacimiento, se observa una

disminución en el parámetro de solubilidad del crudo hasta alcanzar el punto de burbujeo. Luego el gas en solución sale del crudo, provocando un aumento en los componentes más pesados de la fase líquida y esto causa que el parámetro de solubilidad de la fase líquida aumente.

2.2.6 Estabilidad de los asfaltenos

La estabilidad de los sistemas coloidales que mantienen suspendidos a los asfaltenos, depende de un gran número de variables y sus combinaciones. Cualquier alteración de la naturaleza química, eléctrica o mecánica, que modifique el delicado equilibrio de los sistemas coloidales tiene como resultado la precipitación de los asfaltenos. Alayon M. (2004).

El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos que se encuentran en equilibrio y que depende uno del otro para su estabilidad. La estabilidad de los asfaltenos en el crudo se interpreta como su tendencia a mantenerse (disueltos o dispersos) en el crudo que los contiene, sin que llegue a formar depósitos asfálticos.

El agregado de asfaltenos tiene dimensiones coloidales y precipitaría el crudo, si no fuese por la presencia de una capa estabilizante de resinas que lo rodea. El sistema de asfaltenos, unido a las resinas, constituye una partícula coloidal denominada micela, de acuerdo con la terminología de la química de surfactantes.

Estructuralmente, la micela (resina-asfaltenos) tiene un carácter predominante aromático, en el cual, la aromaticidad del asfaltenos es mayor que la de la resina. Estas se constituyen en una interface de transición entre el núcleo de asfalteno y el resto de la matriz del crudo, la cual usualmente tiene una relación alta parafinas/aromáticos. Interface de polaridad media entre el crudo (poco polar),

constituida por parafinas, aromáticos y las resinas no adsorbidas sobre los asfaltenos y estos últimos.

2.2.7 Floculación de los asfaltenos

Este fenómeno ocurre cuando una formación petrolífera comienza a sufrir cambios en sus condiciones iniciales, el equilibrio termodinámico se rompe, dando paso a que las partículas de los asfaltenos de menor peso molecular (maltéanos y resinas) se separen de la molécula de asfaltenos disolviéndose en el crudo, esta molécula comienza a moverse, y al encontrarse con otras moléculas que están en el mismo estado de inestabilidad se unen y forman una molécula más grande.

Basado en el modelo termodinámico coloidal, fue desarrollado un modelo de agregación capaz de predecir el comienzo y la cantidad de deposición de asfaltenos del petróleo bajo la afluencia de solventes miscibles. (Park y Mansoori, 1988). Este modelo esta basado en el hecho de que las resinas juegan un papel importante en la solubilización de los asfaltenos debido a que estas reducen su agregación.

2.2.8 Umbral de floculación de los asfaltenos

Se define como la primera aparición de partículas de asfaltenos que tienden a agregarse. Estos agregados pueden estar precedidos por partículas individuales que se encuentran dispersas. En algunos casos la primera aparición de estas partículas finas ocurre utilizando volúmenes reducidos de agente precipitado (menor al 10%). En otros casos no hay distinción entre la primera aparición de partículas y los agregados. La detección visual del umbral de floculación representa un punto arbitrario en el continuo crecimiento de los agregados de asfaltenos, el tamaño en el cual estas partículas comienzan a aumentar sus dimensiones para ser distinguidas con la óptica de un microscopio (alrededor de $0,5\mu\text{m}$) en el sistema comúnmente

utilizado. Este umbral es comparado con el tamaño típico de la roca reservorio y tiene implicaciones en el taponamiento de pozos.

2.2.9 Deposición de los asfaltenos

La deposición de asfaltenos se refiere al proceso mediante el cual un crudo determinado, bajo ciertas condiciones de presión, temperatura, composición y régimen de flujo, se separará en una o dos fases fluidas de grandes proporciones (gas y/o líquido) y en una fase sólida insoluble de menor tamaño, constituida principalmente por los asfaltenos, los cuales son definidos como la familia de componentes del crudo, que son insolubles en n-heptano. (Rivas, 1994). Los principales factores físicos que afectan la solubilidad de los asfaltenos en los crudos son los cambios de presión, temperatura, composición del crudo y cargas eléctricas que poseen los asfaltenos. Estos pueden depositarse tanto en el yacimiento, como en la tubería de producción o ser llevados a los equipos de superficie a través de las líneas de flujo.

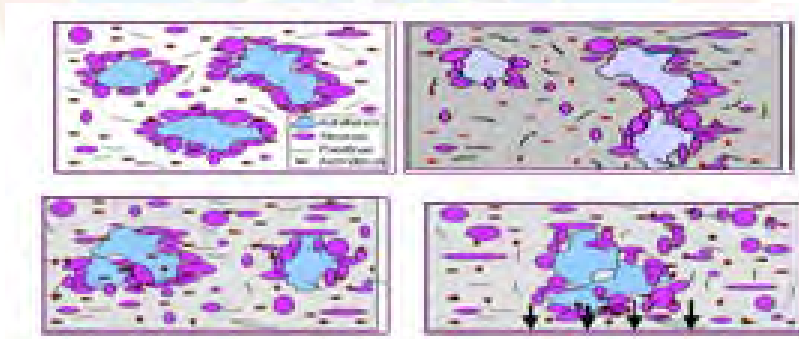


Figura 2.2 Fenómeno de Agregación de Asfaltenos.

Fuente: Eslava G, pp. 10– 20, México, 2000.

2.2.10 Factores que originan la Deposición de Asfaltenos

2.2.10.1 Cambios de composición en los fluidos del yacimiento

La composición de los fluidos del yacimiento cambiará como consecuencia del agotamiento normal durante la etapa de producción primaria del mismo. Esto resultará en una pérdida de los componentes livianos del petróleo, causando un descenso de la relación gas-petróleo (RGP), y un incremento en la densidad de los fluidos. Como regla general, estos efectos reducen la tendencia de precipitación de asfaltenos de los fluidos del yacimiento. Esto es porque tanto el gas como los asfaltenos compiten por la solvencia en el petróleo y cuando éste pierde sus fracciones ligeras, más asfaltenos pueden ir en solución.

Consecuentemente, como los yacimientos en producción disminuyen su presión y el crudo se hace más pesado, los problemas de asfaltenos deberían disminuir.

Por tal motivo, es importante conocer la composición del crudo, para así determinar la cantidad de hidrocarburos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos que posee el mismo, ya que tanto los saturados como los asfaltenos promueven la precipitación, mientras que las fracciones aromáticas y las resinas la evitan. Debido a esto, se debe realizar una caracterización detallada de los fluidos del yacimiento, para determinar la composición del petróleo y definir los parámetros que promueven la precipitación de asfaltenos. Entre estos parámetros están la proporción de cada fracción del crudo y el porcentaje de cada uno de ellos. El porcentaje de asfaltenos presentes en el petróleo es un indicativo de la probabilidad de precipitación en el sistema, por tal razón, la determinación del contenido de éstos en los laboratorios de campo, se realizan como una medida del control de la precipitación.

2.2.10.2 Efectos de la temperatura

La solubilidad de los asfaltenos en los crudos es influenciada por la temperatura. Las situaciones más importantes generadas por los cambios en la temperatura son:

- Efectos de enfriamiento producido por el gas en expansión a través de un orificio o restricción.
- Enfriamiento resultante de la expansión del gas que obliga al petróleo a que atraviese la formación hasta el pozo y lo sube hasta la superficie.
- Enfriamiento producido por la pérdida de calor, irradiado a las formaciones circundantes, por el petróleo y el gas a medida que fluyen desde el fondo del pozo hasta la superficie.
- Enfriamiento producido por la liberación de gases disueltos de la solución.
- Cambios en la temperatura producidos por intrusión de agua.
- Cambios en la temperatura resultantes de la evaporación de los constituyentes más livianos.

En ciertos crudos, un aumento de la temperatura parece favorecer la dispersión de asfaltenos, mientras que en otros, ocurre una disminución de la solubilidad. Por lo tanto, no se puede generalizar sobre el efecto de la temperatura en la floculación de asfaltenos.

2.2.10.3 Efectos de la Presión

En 1984, Hirschberg y colaboradores desarrollaron un modelo termodinámico bajo condiciones de equilibrio, mediante el cual se puede determinar el comportamiento de los asfaltenos con la presión. Este comportamiento es ilustrado en la Figura 2.6. El perfil de la curva generalmente es el mismo para cualquier tipo de crudo asfáltico y se conoce como curva de dispersión o gaviota, y es construida a partir de estudios de laboratorio, en celdas destinadas para tal fin. Esta curva permite establecer las siguientes afirmaciones:

- Inicialmente la cantidad de asfaltenos solubles es máxima cuando la presión de la celda que simula el yacimiento, está por encima del punto de burbujeo (P_b) y se aproxima a su equilibrio natural y original en el yacimiento.
- A medida que la presión disminuye, ocurre lo mismo con la solubilidad de los asfaltenos como consecuencia de la expansión de los componentes livianos del crudo, los cuales alteran el equilibrio original de la solución.
- La solubilidad de los asfaltenos en el crudo tiene un valor mínimo a la presión de burbuja, ya que se producen cambios en la composición del crudo.

Por debajo del punto de burbujeo, aparece una capa de gas libre que constituyen los componentes más livianos, los cuales son los causantes directos de la precipitación; por lo que si la presión llegará hasta este punto, a nivel de la celda de laboratorio, el crudo es capaz de redissolver en su seno al asfalteno que floculó, es decir, el proceso de floculación se revierte y parte del asfalteno precipitado es redissuelto por el crudo.

En otras palabras, Hirschberg y colaboradores demostraron que para una temperatura y composición constante, existe un valor de presión a partir del cual se inicia la floculación de asfaltenos, el cual es conocido como “Onset” o “Umbral de floculación”. Así, en la Figura 2.6, la cual representa una curva típica de floculación, asfaltenos dispersos versus presión, se puede observar que para este tipo de sistemas existen dos umbrales de floculación, un “umbral superior” y un “umbral inferior”, que se encuentran a valores de presión superior e inferior a la presión de burbuja, respectivamente. Esta curva presenta un mínimo, el cual corresponde a la máxima floculación y/o precipitación de asfaltenos para una composición y temperatura definida.

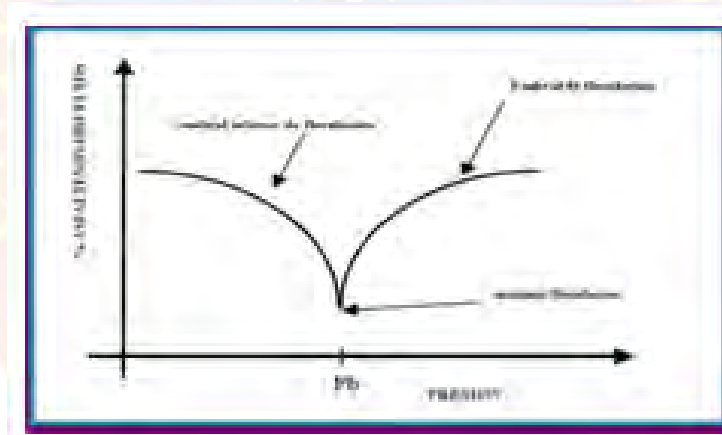


Figura 2.3 Efecto de la presión sobre la floculación de asfaltenos

Fuente: García M. & Rodríguez M. (2005).

2.2.10.4 Por efecto del movimiento

Los cambios en la energía cinética del flujo por aumento o disminución de la producción, pueden ocasionar la destrucción de la capa de resina que cubre a los asfaltenos (micela), promoviendo así la floculación y deposición de los mismos. Esto implica que, los asfaltenos pueden precipitarse como consecuencia de la turbulencia

generada por efecto de los cambios de producción, lo que hace además que, varíen las presiones a las cuales se somete el crudo.

2.2.10.5 Efecto de segregación gravitacional

Las partículas de asfaltenos por ser sólidas y de mayor peso que cualquiera de los componentes del crudo, tienden a aglomerarse y a depositarse por efecto de su propio peso. Esto ocurre en los tanques de almacenamiento y de asentamiento en los que el crudo se deja en reposo por un tiempo determinado, ocurriendo deposición de asfaltenos de acuerdo a las características de estabilidad del crudo.

2.2.10.6 Efecto de la electrodeposición

Dentro del enfoque del sistema coloidal se considera que la partícula de asfálteno posee una carga intrínseca que puede ser negativa o positiva y que está dispersa en el crudo gracias a la presencia de las resinas, las cuales actúan como agentes peptizantes. Tanto las resinas como los asfaltenos tienen tendencia a agregarse entre ellos.

Se ha demostrado que las partículas asfálticas en estado coloidal en el petróleo crudo, están cargadas eléctricamente, por lo que al imponer una diferencia de potencial a través de una masa de crudo, se produce una migración de estas partículas a uno de los electrodos.

2.2.10.7 Inyección de fluidos

Con frecuencia, los yacimientos se encuentran sometidos a procesos de recuperación secundaria, como la inyección de un fluido miscible (etano, dióxido de carbono, gas natural, etc.), para el desplazamiento del petróleo residual. La miscibilidad del solvente con el crudo del yacimiento es una propiedad que también puede llevar a la precipitación de asfaltenos dentro de la matriz del yacimiento y depositarse dentro de la roca. La mayoría de los solventes miscibles tienen el potencial de causar la floculación de asfaltenos. Como cada vez más los solventes se disuelven dentro del crudo, el problema de asfaltenos generalmente tiende a aumentar a medida que avanza el proceso de inyección en el tiempo.

2.2.10.8 Otros factores

Hay evidencia de que cualquier sólido suspendido en el crudo (finos de arcilla o minerales, limaduras de metales, sedimentos, grava, etc.), a menudo favorecen la precipitación de asfaltenos. Estas pequeñas partículas, suspendidas en el crudo, pueden servir de núcleos o “sitios de nucleación” que promueven la adhesión de las partículas de asfaltenos, formándose así grandes cadenas de moléculas o partículas que tienden a precipitar más rápidamente de la solución de crudo. Este efecto ocurre, sobre todo, a nivel de las perforaciones y por supuesto será más marcado a nivel de las tuberías donde las rugosidades internas también representan “sitios de nucleación” para otros compuesto. (Hirschberg y colaboradores, 1984).

2.2.11 Problemas ocasionados por deposición y/o precipitación de asfaltenos

Los problemas asociados a la precipitación de los asfaltenos ocurren tanto en el subsuelo como en superficie, afectando la explotación efectiva de los yacimientos petrolíferos y pueden ocurrir en:

- Yacimiento.
- Cara de la formación.
- Tubería de producción.
- Instalaciones de superficie.

2.2.11.1 Taponamiento del Yacimiento

Una vez que la precipitación de asfaltenos ha ocurrido en el yacimiento, lejos del pozo, prácticamente no existe ninguna medida correctiva viable. Sin embargo, a este nivel el problema es relativamente menos grave que cuando sucede en la cara de la formación, ya que lejos del pozo, el área de flujo es mucho mayor y las velocidades son mucho más bajas.

En el yacimiento, la medida preventiva viable consiste en mantener la presión de la formación por encima del umbral de floculación, mediante la inyección de fluidos que sustituyan al crudo producido.

Para implementar el proyecto de inyección se recomienda realizar estudios que permitan la determinación experimental de curvas de dispersión, a fin de determinar el umbral de precipitación a la temperatura de yacimiento. Mediante estos estudios, se

debe también determinar la compatibilidad de los fluidos inyectados, ya que dependiendo de la composición de los mismos, la precipitación se pudiera inducir en lugar de prevenirse.

2.2.11.2 Taponamiento en la cara de la formación

Uno de los sitios donde es más susceptible y a la vez más grave que ocurra la precipitación de asfaltenos, es en la zona del yacimiento adyacente al fondo del pozo. En esta zona suceden las mayores caídas de presión en el yacimiento, por lo que, a menos que se tomen precauciones estrictas al respecto, en este sitio se pueden alcanzar condiciones por debajo del umbral superior de precipitación. Como en esta zona el área de flujo es pequeña, sólo una pequeña cantidad de los flóculos es transportada por los fluidos hasta la tubería del pozo, mientras que la mayor parte se adhiere a la roca o se retiene en las gargantas de los poros ocasionando el taponamiento de la formación. Cuando esto sucede, es necesario realizar un trabajo de fracturamiento hidráulico o una estimulación química con un tratamiento que elimine los depósitos.

2.2.11.3 Taponamiento de la tubería de producción

El petróleo, en su viaje a través de la tubería de producción, sufre cambios simultáneos de presión y temperatura a medida que fluye desde el yacimiento hasta la superficie. Dependiendo de la composición del crudo, la disminución de presión y temperatura pueden ocasionar que el crudo a condiciones de yacimiento, se separe en dos y hasta tres fases (gas-líquidos o gas-líquido-sólido), mientras el mismo se encuentra todavía fluyendo en la tubería de producción.

La formación de una fase gaseosa no reviste mayores consecuencias y es una ocurrencia rutinaria en la explotación de yacimientos. La formación de una fase sólida, por el contrario, puede causar serios problemas desde un punto de vista económico, ya que se conoce de un número alto de casos en los que los taponamientos ocasionados por la presencia de una fase sólida han producido pérdidas parciales y, en algunos casos, pérdidas totales de producción de los pozos.



Figura 2.4 Obstrucción de tuberías por deposición de asfaltenos.
Fuente: Oliffield Review

2.2.11.4 Taponamiento en las instalaciones de superficie

En las instalaciones de superficie, el problema de precipitación de asfaltenos ocurre principalmente en las estaciones de flujo y en las instalaciones y equipos corrientes aguas abajo de las mismas, asociadas a los sistemas de manejo, transporte y compresión de las corrientes de gas.

Estudios relacionados al tema, han determinado que la presencia de asfaltenos en los sistemas de compresión, transporte y manejo del gas se debe fundamentalmente al arrastre de líquidos por las corrientes de gas en las estaciones de separación. De esta forma, los asfaltenos y otros componentes de alto peso molecular contenidos en el líquido arrastrado, entran en los sistemas de gas y precipitaban

entonces corriente aguas abajo cuando las condiciones de presión, temperatura y composición así lo determinaban. La deposición del material asfáltico puede ser el resultado de su precipitación durante el flujo del petróleo desde el yacimiento, o también puede deberse a la acumulación de asfalto aglutinado en determinadas secciones de las líneas de descarga.

Otra posible causa de los depósitos, es la producción desde el yacimiento de la sustancia asfáltica en estado libre y ya aglutinado. Estudios e investigaciones de laboratorio han encontrado que los depósitos que ocurren en el equipo de producción, cuando el crudo contiene material asfáltico coloidal, puede originarse como consecuencia de los fenómenos de electro deposición, precipitación de material asfáltico por potenciales de corriente y por segregación de material asfáltico proveniente del rompimiento de emulsiones agua – crudo; además de los efectos de presión, temperatura y solubilidad.

Cuando la precipitación ocurre en forma masiva, las filiales operadoras deben tomar medidas correctivas que consisten fundamentalmente en paradas totales o parciales de las plantas y equipos afectados, a fin de realizar la limpieza de los mismos mediante métodos mecánicos y utilización de solventes según Hirschberg y colaboradores (1984)

2.2.12 Dispersantes

Los dispersantes son una clase de materiales capaces de llevar a un estado de suspensión a las partículas sólidas finas, así como inhibir o prevenir su aglomeración o asentamiento en un medio fluido. Los dispersantes pueden desintegrar los aglomerados o agregados de partículas finas, llevar estas partículas a solución coloidal.

2.2.13 Dispersantes de asfaltenos

Un dispersante de asfaltenos es una solución homogénea de uno o más surfactantes (aniónicos y/o no iónicos); es un solvente hidrocarbonado de carácter predominante aromático. Usualmente, el porcentaje de activos (surfactante) varía entre el 10 y el 50% de la formulación. La dosificación operacional de estos productos es del orden de 5 a 1000ppm, lo cual representa valores muy pequeños al comparar con los grandes volúmenes de solventes orgánicos utilizados para disolver, precipitados de asfaltenos.

La efectividad del producto como agente dispersante de asfalto depende de un conjunto de variables, tales como: composición química y porcentaje de compuestos activos, solventes, co-solventes y co-surfactantes empleados en la formación; tipo de crudo (origen, madurez, profundidad, composición); naturaleza de los asfaltenos (polaridad, peso molecular, grado de aromaticidad); dosificación del producto y condiciones de presión y temperatura.

La función de los dispersante es mantener estabilizada las partículas de asfaltenos presente en el crudo, inhibiendo su deposición, así como como también promueve la disolución o peptización de los asfaltenos una vez que hayan precipitado, esto mediante mecanismo físico- químico que dependen de la naturaleza del agente. (Chang R, 2007).

2.2.14 Xileno

El Xileno, Xilol o dimetilbenceno, $C_6H_4(CH_3)_2$ es el que se obtiene a partir del Benceno. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo bencénico, se diferencia entre orto-, meta-, o para- xileno(o con sus nombres sistemáticos 1,2; 1,3; y

1,4- dimetilbenceno). Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno.

2.2.14.1 Procedencia del xileno

Los Xilenos se encuentran en los gases de coque, en los gases obtenidos en la destilación seca de la madera (de allí su nombre: xilon significa madera en griego) y en algunos petróleos. Tiene muy buen comportamiento a la hora de su combustión en un motor de gasolina y por esto se intenta aumentar su contenido en procesos de reformado catalítico.

2.2.14.2 Aplicaciones del xileno

Los xilenos son buenos disolventes y se usan como tales. Además, forman parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice de octano.

En química orgánica son importantes productos de partida en la obtención de los ácidos ftálicos que se sintetizan por oxidación catalítica.

Un inconveniente es la dificultad de separación de los isómeros que tienen puntos de ebullición casi idénticos (o-xileno: 144°C; m-xileno: 139°C; p-xileno: 138°C).

2.2.14.3 Toxicología del xileno

Los xilenos son nocivos. Sus vapores pueden provocar dolor de cabeza, náuseas y malestar general. Al igual que el benceno, es un agente narcótico. Las exposiciones prolongadas a este producto pueden ocasionar alteraciones en el sistema nervioso

central y en los órganos hematopoyéticos, así como también el xilol se encuentra en los marcadores de tinta permanente. Este producto es nocivo para la salud. (Fussel, 1979).

2.2.15 Heptano

El heptano es un hidrocarburo saturado lineal de la familia de los alcanos de fórmula C_7H_{16} . Cuando se utiliza en un test como componente del combustible de un test de motores antidetonantes, un combustible con un 100% de heptano es el punto cero de la escala de octanaje (siendo el punto 100 con 100% de iso-octano). Existe en la forma de 9 isómeros.

2.2.15.1 Usos del heptano

El heptano (y sus muchos isómeros), se utiliza en los laboratorios como un disolvente totalmente apolar. Ya que se presenta en estado líquido a presión y temperatura ambiente, es fácil de transportar y de almacenar.

El heptano se encuentra disponible comercialmente mezclado con sus isómeros, para el uso en pinturas y revestimientos y también puro para la investigación y desarrollo, la fabricación de productos farmacéuticos y como componentes minoritario en la gasolina.

2.2.15.2 Escala de Octanaje del heptano

El n-heptano es el punto cero en la escala del octanaje. No es un producto deseable del petróleo, ya que arde de forma explosiva, a diferencia de sus isómeros ramificados que arden de una forma más lenta y dan un mayor rendimiento. Se eligió

como punto cero de la escala de octanaje, por la posibilidad de obtener n-heptano de alta pureza, sin estar mezclado con otros isómeros del heptano u otros alcanos. Según Fusell (1979).

2.2.16 *Copaifera officinalis*

Originaria de América del Sur, la *Copaifera* es un árbol que se distribuye principalmente en el Perú, Brasil, Colombia, Bolivia, Venezuela y Guyana. Este árbol llega a alcanzar los 30 metros de altura y ha sido utilizado durante largo tiempo por los nativos de las regiones Amazónicas. Se introdujo en Europa a principios del siglo XVII gracias al aceite o resina que se obtenía de él era utilizado en el tratamiento natural de diferentes enfermedades.

Es uno de los aceites esenciales más utilizados en el mundo, de reconocidos efectos en la salud humana, es recomendado desde tiempos antiguos por la medicina tradicional, también se obtiene por destilación de las hojas de *Melaleuca alternifolia*, En su composición presenta más de cuarenta componentes diferentes con una marcada actividad antiséptica y desinfectante. Es una sustancia que no resulta tóxica ni irritante y actúa inhibiendo el crecimiento de mohos, hongos y bacterias.

2.2.17 Composición química de resina del aceite de árbol

Desde el punto de vista de su composición química, las resinas extraídas del tronco del árbol contienen compuestos muy complejos. Usualmente se trata de una mezcla de sustancias parcialmente conocidas, algunas constituidas por cadenas muy largas de moléculas simples; y otras, al contrario, formadas por moléculas polímeras mucho más complejas. La mayor parte de los componentes pertenecen a la clase de los hidrocarburos terpenicos y de sus derivados ácidos y alcohólicos.

Entre las moléculas simples se encuentran:

1. Los ácidos aromáticos que son pequeñas cadenas alifáticas insaturadas (no siempre presentes).
2. Los aceites esenciales (hidrocarburos terpenicos y sus derivados alcohólicos y éteres).
3. Los ácidos resinosos de estructura compleja de tipo terpenico, cíclicos y policíclicos y con un número de átomos de carbono muy variable.

2.2.18 Composición de ácidos grasos y datos fisicoquímicos

La composición química de l aceite-resina del copaíba se piensa para tener aproximadamente 72 sesquiterpenos (hidrocarburos) y 28 diterpenos (ácidos carboxílicos), y el aceite es compuesto por el 50% de cada uno de estos terpenos. Los diterpenos se atribuyen en la mayoría para los usos terapéuticos, un hecho científico probado. Los sesquiterpenos son parcialmente responsables del aroma de la aceite-resina y también tienen características del antiulcer, antiviral, y del anti-rinovirus. Los investigadores han encontrado que la aceite-resina de la copaiba tiene acción antiinflamatoria. Este potencial fue demostrado para ser dos veces más arriba que lo encontrada en el sodio de diclofenac, una de las drogas antiinflamatorias más ampliamente utilizadas del mercado. Según García, C y Moreno, S.(2005).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Coloide: es un sistema físico-químico formado por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas (Chang R, 2007, p 1110).

Floculación: acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. (Vargas L, 2008.p 40).

Hidrocarburos aromáticos: son todos aquellos pertenecientes a la familia del benceno, un anillo cuya fórmula química es (C₆H₆) con tres enlaces dobles. Son hidrocarburos insaturados, puesto que reaccionan a la adición de hidrógenos o de otros elementos como el benceno, tolueno, xileno, entre otros. (Russell J. y Boulding S, 1970,p 30).

Micela: según Shinoda K. (1963) la micela es partícula coloidal dispersa en un medio de tamaño tan pequeño que no pueden observarse con el microscopio óptico. Poseen una carga eléctrica y están formadas por agrupaciones de moléculas que tienen la propiedad de poder crecer y dividirse.

Nucleación: la nucleación es el comienzo de un cambio de estado en una región pequeña pero estable. El cambio de estado puede ser la formación de gas o cristal a partir de un líquido. (Anderson and Lekkerkerker, 2002,pg 416,804).

Solubilidad: la solubilidad es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto. (Nekrasov Y, 1996).

Peptización: proceso en el cual las resinas se adhieren a los asfaltenos, rodeando su superficie, evitando que éstos se unan entre sí. (Nekrasov Y, 1996).

Polímeros: son materiales de origen tanto natural como sintético, formados por moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas. (Nicholson W, 2006).

Umbral de Floculación: valor de presión, para una temperatura y composición dada, a partir del cual se inicia la floculación de asfaltenos.(Monsoori G, 2001).

Surfactantes: también conocidos como agentes tensioactivos, son agentes de humectación que bajan la tensión superficial de un líquido, permiten una mas fácil dispersión y bajan la tensión interfacial entre dos líquidos. (Nicholson W, 2006).



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrolló es de tipo explicativa, donde se realizó la evaluación del uso de productos químicos en base a resina de aceite árbol como agente dispersante en la floculación de los asfaltenos.

Según el autor Arias F (2006), la cual “es aquella que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis” P. 26.

Esta investigación fue fundamentada en la evaluación de la resina derivada del aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) como agente dispersante de asfaltenos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación que se llevó a cabo es de tipo experimental, según el autor Arias F. (2006, P. 33), establece que es un “Proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

En relación a lo indicado, el diseño, de la investigación fue de tipo experimental, ya que la estrategia que se llevo a cabo estuvo basada en la evaluación

de la resina obtenida del derivado del Aceite de Árbol (*Copaifera officinalis*) y un solvente Orgánico (xileno) con el fin de variar el umbral de floculación de los asfaltenos presentes en las muestras.

3.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Para Arias. F (2006,P. 47), en su libro El Proyecto de Investigación la hipótesis no es más que “una suposición que expresa la posible relación entre dos o más variables, la cual se formula para responder tentativamente a un problema o pregunta de investigación”.

A través del desarrollo de este trabajo de investigación, la hipótesis a comprobar fue “que la resina derivada del aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) es más eficiente como agente dispersante de asfalteno, que el producto comercial base, xileno”, mediante la aplicación de estos compuestos químicos a dos muestras de crudo.

3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Arias F (2006, P. 57), define la variable como “una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación”. En tal sentido, durante la elaboración de este trabajo de investigación la variable independiente estuvo representada por las diferentes dosis aplicadas a las muestra del producto químico en base a solvente orgánico y resina de aceite de árbol, en tanto que la variable dependiente fue el umbral de floculación de los asfaltenos presentes en los crudos.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

Señala Arias F (2006, P. 81), la población como un: “conjunto finito e infinito con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por el objetivo en estudio”.

Durante la investigación, la población estará representada por todos los productos químicos en base a solvente orgánico y resina de aceite de árbol que se puedan crear y la muestra estará representada por un conjunto de ocho productos químicos en base a solvente.

Por lo que para llevar a cabo esta investigación, se tomo en consideración una muestra de ocho productos químicos en base a solvente orgánico y resina derivada del aceite de árbol: (*Copaifera officinalis*) 5% de resina y 95% xileno, 10% resina 90% xileno, 15% resina 85% xileno, 20% resina 80% xileno, 25% resina 75% xileno, 30% resina 70% xileno, 35% resina 65% xileno, 40% resina 60% xileno.

3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para obtener los objetivos planteados en la investigación, se utilizo la siguiente metodología.

3.6.1 Caracterización del aceite y las dos muestras de crudo en función de la gravedad API, densidad, viscosidad, porcentaje de asfalteno

3.6.1.1 Determinación de la gravedad API de las muestras seleccionadas.

A través de la norma ASTM D287 se realizo la caracterización de los crudos estudiados, se uso la prueba estándar para la gravedad API (método del hidrómetro);

la cual estuvo basada en la utilización de un hidrómetro en el que se observó directamente la gravedad API del crudo, describiendo cuán pesados o livianos son los crudos en comparación al agua.

Procedimiento experimental

- Se colocó en un cilindro seco, limpio y a temperatura ambiente, 500 ml de muestra.
- Se sumergió el hidrómetro en la muestra dejándolo descender suavemente, cuando éste permaneció en reposo se dejó que flotara libremente, sin tocar las paredes del cilindro, dejando el vástago del hidrómetro seco para evitar lecturas erróneas.
- Se leyó la gravedad API, anotando la lectura en el cual el nivel del líquido interceptó la escala del hidrómetro a temperatura ambiente.
- Se sacó el hidrómetro, dejando el bulbo del mismo dentro de la muestra y se leyó la temperatura a la cual se encontraba el crudo.
- Se corrigió la gravedad API a condiciones normales (60°F y 14,7 lpca).

3.6.1.2 Determinación de la densidad de las muestras por el método del picnómetro

Estuvo basada en la utilización de un picnómetro o botella de gravedad específica; la cual posee un sello de vidrio que dispone de un tapón provisto de un finísimo capilar, de tal manera que puede obtenerse un volumen con gran precisión. Esto permite medir la densidad de un fluido, en referencia a la de un fluido de densidad conocida como el agua. Para determinar la densidad de las muestras se

utilizaron dos picnómetros de 50ml para la muestra de crudo mediano, el método del picnómetro se basa en obtener el peso del picnómetro tanto vacío como lleno.

Procedimiento experimental

- Se pesó el picnómetro vacío, seco y limpio en la balanza analítica.
- Se llenó cada picnómetro con la muestra de crudo, colocándole su tapa la cual posee un termómetro para medir la temperatura del crudo.
- Al colocar la tapa el fluido se derramó, por lo que se secaron bien las paredes externas del picnómetro.
- Se pesó el picnómetro lleno en la balanza analítica.

Se determinó la densidad de la muestra a temperatura ambiente utilizando la siguiente fórmula (Acosta, p.67):

$$\rho_o = \frac{w_{op} - w_p}{v_p} \quad (3.1)$$

ρ_o = densidad del petróleo(g/ml)

W_{op} = peso del picnómetro lleno (g)

W_p = peso del picnómetro vacío (g)

V_p = volumen del picnómetro (ml)

3.6.1.3 Determinación de la viscosidad a través del viscosímetro Brookfield.

Con esta prueba se determinó la viscosidad de las muestras en estudio, a través del instrumento brookfield el cual arroja el valor de la viscosidad de forma directa,

siendo ésta una de las propiedades físicas más importantes del petróleo, constituyendo una medida de característica de flujo.

Procedimiento experimental

- Se lleno un beacker de 500 ml con la muestra de crudo.
- Luego se introdujo el rotor del viscosímetro en el beacker lleno de crudo hasta la marca indicada, teniendo precaución de no tocar las paredes del mismo.
- Seguidamente se encendió el motor del viscosímetro y se leyó el valor de la viscosidad en la pantalla del instrumento.

3.6.2 Caracterización de la resina mediante la destilación del aceite de árbol en función de la gravedad especifica, densidad, viscosidad

3.6.2.1 Obtención de la resina

Según Camacho, R. (2006). Para obtener la resina de aceite de árbol la técnica seleccionada será la de perforar el tronco de un árbol donde se coloca una cámara en forma de V que se encarga de recoger toda la resina que segrega, la cual después de destilar permite obtener el “aceite de palo” o “bálsamo de copaiba.”

Esto se obtendrá por gravedad y luego, se calentará a 40 o 50 centígrados con lo cual se separará la suciedad y el agua.

3.6.2.2 Obtención de la resina del aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) mediante destilación atmosférica

La resina del Árbol de aceite (*Copaifera officinalis*) se sometió a destilación por medio del rotoevaporador, que permitió obtener el derivado que luego se uso para dispersar las muestras floculadas; la solución se colocó en un matraz de fondo redondo que se acopló al rotoevaporador de manera que exhibió un movimiento de rotación durante todo el proceso de evaporación; para calentar la solución se utilizó un baño de agua termostático a ciertas condiciones, se destiló al condensar los vapores en un refrigerante en espiral, recogiendo el derivado en un matraz colector de fondo redondo, obteniendo como residuo la resina a utilizar como dispersante de asfaltenos en cada una de las muestras, determinándose características como la densidad, viscosidad y gravedad específica importantes para su estudio.

3.6.3 Determinación del umbral de floculación de las muestras de crudo originales mediante la titulación con n-parafina (heptano) y la capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado

3.6.3.1 Umbral de Floculación

A las muestras de crudo se le agregó cierta cantidad del producto químico heptano, que actuó como agente floculante, se utilizó el método óptico con la finalidad de percibir su comportamiento mediante el microscopio, esto con el fin de tener datos base para el análisis del comportamiento obtenido.

Procedimiento experimental

- Se pesaron 10 gramos de la muestra de crudo en un beaker de 100 ml.

- Se procedió a titular con pequeña cantidad de parafinas lineales (n-heptano) y se agitó por un tiempo determinado de cinco (5) minutos.
- Se tomó una alícuota, se colocó en el portaobjeto y después de esperar un tiempo de cinco (5) minutos aproximadamente se observó en el microscopio si existía floculación de asfaltenos (si estaba presente alguna diferencia de la alícuota anterior) de no ser así se repetía el procedimiento desde la titulación.
- Cuando se encontró la diferencia, es decir, cuando las partículas de asfaltenos empezaban a agregarse, se anotó la cantidad de precipitante (n-heptano) utilizado.
- Se realizaron tres repeticiones por cada ensayo para tener una mejor precisión en los resultados, calculando la media de los tres valores.

3.6.3.2 Capacidad de dispersión

Luego de obtener el derivado del aceite de árbol por destilación se procedió a agregar dicha resina y el solvente orgánico en diferentes concentraciones a las dos muestras de crudo: 5% resina y 95% de xileno, 10% resina y 90% de xileno, 15% resina 85% de xileno, 20% resina y 80% de xileno, 25% resina y 75% de xileno, 30% resina y 70% de xileno, 35% resina y 65% de xileno, 40% resina y 60% de xileno, para observar su comportamiento como un dispersante de asfaltenos, una vez logrado este punto las muestras fueron analizadas con el microscopio; con los datos obtenidos se determinó la eficiencia de la resina como agente dispersante.

Procedimiento experimental

- Se pesaron 10 gramos de la muestra de crudo en un beaker de 100 ml.

- Se procedió a titular con pequeña cantidad de parafinas lineales (n-heptano) y se agitó por un tiempo determinado de cinco (5) minutos.
- Se tomó una alícuota, se colocó en el portaobjeto y después de esperar un tiempo de cinco (5) minutos aproximadamente se observó en el microscopio si existía floculación de asfaltenos (si estaba presente alguna diferencia de la alícuota anterior) de no ser así se repetía el procedimiento desde la titulación.
- Cuando se encontró la diferencia, es decir, cuando las partículas de asfaltenos empezaban a agregarse, se anotó la cantidad de precipitante (n-heptano) utilizado.
- Se dosificaron con el producto químico en base a solvente orgánico y resina de aceite de árbol, aplicando la cantidad de 10 μL con la microinyectora, cada diez (10) minutos.
- Se realizó el procedimiento anterior, hasta alcanzar la dispersión de los asfaltenos presentes en las muestras.
- Se repitió este procedimiento para las ocho concentraciones en base a solvente orgánico y resina de aceite de árbol.
- Se realizaron tres repeticiones por cada concentración para tener una mejor exactitud en los resultados.

3.6.4 Determinar la eficiencia de dispersión del producto mediante la realización de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las dos sustancias (xileno y producto químico).

Se realizó una comparación de los resultados arrojados con el solvente orgánico (xileno) y el producto químico, en las diferentes dosis aplicadas, relacionados al umbral de floculación de los asfaltenos para verificar que el producto funciona como

agente dispersante de asfaltenos aplicando pruebas estadísticas como porcentaje de eficiencia, índice de estabilidad y mínima diferencia significativa (LSD), mediante el programa Statgraphics Plus 5.1; la cual a través de ecuaciones determina la mínima diferencia significativa que existe entre dos medias para que estas sean estadísticamente iguales. Se calculó la diferencia entre cada muestra dosificada; para el caso en que la diferencia fue menor o igual a la mínima diferencia significativa calculada por el programa se dice que las medias son iguales y para el caso en que la diferencia fue mayor a la mínima diferencia significativa se dice que las medias son diferente. Todo esto para corroborar si había diferencia entre los resultados y alguna influencia en la variable independiente sobre la variable dependiente.

Procedimiento experimental

Después que se determino la capacidad de dispersión, se procedió a realizar el cálculo la eficiencia porcentual de los productos químicos dispersantes:

$$\%E = \left(\frac{v \text{ xileno} - v \text{ del producto}}{v \text{ del xileno}} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Dónde:

Vxileno: volumen del xileno (μl)

Vproducto: volumen del producto químico dispersante.(ml)

%E: Porcentaje de eficiencia.

- Luego se cálculo el índice de estabilidad de los productos químicos dispersantes:

$$IE = \frac{\text{Solubilidad}}{\text{Insolubilidad}} \quad (3.3)$$

Dónde:

IE: índice de estabilidad (μl xileno/ml heptano)

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según Arias F (2006, p. 67-69), define las técnicas como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. Asimismo, apunta que los instrumentos de recolección de datos son “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”.

Revisión bibliográfica: estuvo basada en la búsqueda de información en, trabajos previos, libros de diferentes autores, informes, conexiones a internet y publicaciones pertinentes al tema, entre otros.

Entrevistas no estructuradas: se solicitó asesorías con ingenieros y personal calificados y asociados al tema a desarrollar, con la finalidad de adquirir información, ayudando así a la ejecución del estudio a realizado.

Observación indirecta: se enfocó a las observaciones hechas de manera indirecta a través del microscopio las cuales consisten en visualizar o captar mediante la vista el comportamiento de las muestras, realizando un registro de imágenes.

Instrumentos Utilizados:

- Balanza analítica: marca SARTORIUS modelo BP 221S. Máxima medida 220 g, con un porcentaje de error de 0,1 mg. Equipo para medir masas.

- Equipo de titulación: conformado por un sistema de buretas de 10 ml y porcentaje de precisión de $\pm 0,1\text{ml}$ con soporte universal y un hot plate marca CORNING de 0 a 480 °C y velocidad de 0 a 1100 RPM.
- Microscopio Óptico: marca LW Scientific, modelo I4M-B05A-IPL y una apreciación de 1X.
- Refractómetro de Abbe digital: mide la refracción de la luz transmitida a través de la entre cara vidrio – muestra con una exactitud de $\pm 0,0001$.
- Micro inyectora: HAMILTON MICROLITERTM, número 702.
- Beakers, cilindros graduados de variados tamaños, buretas, cubre y porta objeto, goteros.

3.8 RECURSOS

3.8.1 Recursos Humanos

Durante el desarrollo de la investigación y elaboración del proyecto se busco el asesoramiento de profesores que laboran en la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente-Núcleo Monagas y los técnicos de laboratorio además de personas especializadas en él área.

3.8.2 Recursos Financieros

Durante la elaboración del proyecto todos los gastos generados, fueron asumidos por los investigadores del proyecto.

3.8.3 Recursos Materiales y bibliográficos

Material bibliográfico: tesis de grado, libros, información digitalizada, informes de campo, documentales, Internet, entre otros.

Materiales de laboratorio: Rotoevaporador, microscopio, entre otros. También se necesitaran productos químicos como heptano, xileno, entre otros.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE Y DOS MUESTRAS DE CRUDO EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD API, DENSIDAD, VISCOSIDAD, PORCENTAJE DE ASFALTENOS

4.1.1 Determinación de la gravedad API de las muestras seleccionadas (Método del hidrómetro por la norma COVENIN 883 o ASTM D – 287)

La gravedad API (American Petroleum Institute) indica la relación de peso específico y de fluidez de los crudos con respecto al agua, lo que permite conocer la calidad y clasificación de los mismos.

Durante esta investigación se caracterizaron los crudos a través de la prueba estándar para la gravedad API (método del hidrómetro); la cual está basada en la utilización de un hidrómetro, en el que se observó directamente la gravedad API del crudo a temperatura ambiente, siendo relevante que la toma de esta lectura no se realizó a condiciones normales fue necesario corregir la gravedad obtenida a través del programa de corrección de la gravedad API a 60 °F, (Programa D.1 Apéndice D.), y según la clasificación de los crudos con respecto al instituto Americano del petróleo (Tabla A.1 Apéndice A) se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 4.1 Gravedad API para cada muestra de crudo

Muestra	Gravedad API	Clasificación
A	26	Mediano
B	21,9	Pesado

Se tiene que la gravedad API depende de la cantidad de componentes de alto peso molecular que se encuentra en el crudo; es decir, mientras mayor cantidad de componentes pesado estén presentes menor será la gravedad API. Estos componentes están asociados a la presencia de los asfaltenos, teóricamente un crudo con una mayor cantidad de componentes pesados contendrá una mayor cantidad de asfaltenos.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se observó que la muestra A presenta menos componentes pesados que la muestra B.

4.1.2 Prueba Estándar para Determinar la Densidad del Petróleo Crudo y sus Derivados (Método del Picnómetro)

Con la aplicación de esta prueba estándar a través del método del picnómetro se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 4.2 Densidad de cada una de las muestras a temperatura ambiente

MUESTRA	GRAVEDAD API	TEMPERATURA(°C)	DENSIDAD(g/ml)
A	28,6	25,6	0,8865
B	21,9	25,6	0,9167

La relación que existe entre la gravedad API y la densidad es inversamente proporcional; es decir, que mientras mayor sea la gravedad API menor será la densidad del crudo en cuestión, debido a que un valor más alto de °API corresponde a un peso específico más bajo, lo que corresponde a un crudo más ligero, lo cual quedo comprobado en los resultados obtenidos en la caracterización de los crudos en estudio.

4.1.3 Prueba Estándar para Determinar la Viscosidad a Través del Viscosímetro Brookfield

Con la realización de esta prueba estándar, a través del viscosímetro d Brookfield se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 4.3 Viscosidad de las muestras estudiadas

Crudo	Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)
A	25,6	41,80
B	25,6	48,62

La viscosidad es una de las características más importantes de los hidrocarburos en los aspectos operacionales de producción, transporte, refinación y petroquímica. La viscosidad, indica la resistencia que opone el crudo al flujo interno. De acuerdo a los resultados obtenidos, en la tabla N° 4.3 se observa que la muestra B con un valor de 48,62 cP es más viscosa que la muestra A que tiene una viscosidad de 41,80 cP. Esto se debe a que la muestra B tiene más componentes pesados que la muestra A, lo que se corroboró con los valores de densidad.

4.1.4 Prueba para la Cuantificación de Asfaltenos en los Crudos Aplicando el Método del Refractómetro

Tabla N° 4.4 Porcentaje de asfaltenos de cada una de las muestras en función al índice de refracción

MUESTRAS	GRAVEDAD API	TEMPERATURA (°C)	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	%ASFALTENOS
A	26	25,8	1,4940	3.41±0.36
B	21,9	27,5	1,4853	4,18±0,36

En la presente tabla se puede observar que los resultados obtenidos se vieron influenciados por la gravedad API, donde se presento una mayor cantidad de componentes de alto peso molecular en el crudo B siendo así el %de asfaltenos mayor en este, reforzando la teoría expuesta anteriormente, es importante destacar que pese a que los resultados estuvieron mayormente influenciados por la gravedad API , esta no es el único factor determinante en la presencia o porcentaje de asfaltenos en los crudos, factores importantes como: condiciones de yacimiento, las procedencias de los crudos y naturaleza de los mismos son determinantes a la hora de caracterizar los asfaltenos.

4.1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA MEDIANTE LA DESTILACIÓN DE ACEITE DE ÁRBOL EN FUNCIÓN DE LA VISCOSIDAD, DENSIDAD Y LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Tabla N° 4.5 Características de la resina de aceite de árbol

Muestra	Temp(°C)	Gravedad Específica	Viscosidad Dinámica(cP)	Viscosidad Cinemática(cSt)	Densidad (g/ml)
Resina de aceite de árbol	27,3	1,043	996,500	958,173	1,040

Se puede observar que la tabla 4.5 que la resina de aceite de árbol presento viscosidad aparentemente superior a las muestras de crudo debido a que las fuerzas intermoleculares presentes, es mayor en la resina de aceite árbol que las fuerzas de atracción que actúan entre las moléculas de las dos muestras de crudo estudiadas, correspondiendo a las características de las resinas con una consistencia muy espesa, de allí la diferencia observadas entre las viscosidades, cabe destacar que otras de las características relevantes de la resina son poco volátiles, poco solubles en agua, tienen un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes

esteres, siendo propensas a sufrir reacciones de polimerización. Según García, C y Moreno, S.(2005).

4.2 DETERMINACIÓN DEL UMBRAL DE FLOCULACIÓN DE LAS MUESTRAS ORIGINALES, MEDIANTE LA TITULACIÓN CON N-PARAFINA (HEPTANO) Y LA CAPACIDAD DE DISPERSIÓN DE ASFALTENO DEL PRODUCTO QUÍMICO PREPARADO

Tabla N° 4.6 Umbral de floculación de las muestras.

MUESTRAS DE CRUDO.	UMBRAL DE FLOCULACIÓN (HEPTANO) ml
A	6,5
B	11,5

Al realizar las pruebas para determinar el umbral de floculación de los asfaltenos, se tomó en consideración un tiempo estimado de reposo de 10 minutos.

La diferencia de los resultados obtenidos en la floculación de los asfaltenos presentes en cada una de las muestras en estudio se debe a que la cantidad de n-heptano requerida para la muestra A es menor, esto gracias a que en su composición tiene una mayor cantidad de componentes de bajo peso molecular, por ende poseen cantidades moderadas de asfaltenos y en ellos están presentes los agentes que hacen que los mismos floculen por insolubilidad, como son las parafinas líquidas de bajo peso molecular, así como también al ser un crudo menos estable los asfaltenos tienden a desestabilizarse de forma más rápida necesitando una menor cantidad de heptano para precipitar.

4.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DISPERSIÓN DE ASFALTENOS DEL PRODUCTO QUÍMICO PREPARADO

Tabla N° 4.7 la capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado aplicado a las muestra A

CAPACIDAD DE DISPERSIÓN XILENO (base en ml)	DOSIS DE PRODUCTO QUÍMICO	CAPACIDAD DE DISPERSIÓN (ml producto)	RESULTADO COMPARATIVO CON RESPECTO A LA BASE (XILENO)
0,950	5% resina de aceite de árbol -95% Xileno	0,950	ND
0,950	10% resina de aceite de árbol-90 % Xileno	0,950	ND
0,950	15% resina de aceite de árbol - 85%Xileno	0,950	ND
0,950	20% resina de aceite de árbol - 80% xileno	0,950	D

Continuación Tabla N° 4.7

0,950	25% resina de aceite de árbol - 75 % Xileno	0,833	D
0,950	30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0,950	ND
0,950	35% resina de aceite de árbol 65% Xileno	0,933	D
0,950	40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0,916	D

ND: No disperso

D: Disperso

Tabla N° 4.8 Capacidad de dispersión de asfaltenos del producto químico preparado aplicado a las muestra B

CAPACIDAD DE DISPERSIÓN XILENO (base ml)	DOSIS DE PRODUCTO QUÍMICO	CAPACIDAD DE DISPERSIÓN (ml producto)	RESULTADO
0,88	5% resina de aceite de árbol -95% Xileno	0,88	ND
0,88	10% resina de aceite de árbol- 90 % Xileno	0,88	ND
0,88	15% resina de aceite de árbol -85%Xileno	0,880	ND
0,88	20% resina de aceite de árbol -80% xileno	0,780	D

Continuación Tabla N° 4.8

0,88	25% resina de aceite de árbol -75 % Xileno	0,880	ND
0,88	30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0,88	ND
0,88	35% resina de aceite de árbol 65% Xileno	0,613	D
0,88	40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0,446	D

ND: No disperso

D: Disperso

Los resultados arrojados por las pruebas de dispersión practicadas a las muestras en estudio, (Tabla 4.7), indican que se presenta una actividad dispersante de forma irregular ;con respecto a las concentraciones del producto químico en ambos casos, lo que lleva a la conclusión de que el efecto del producto sobre ellas es más dependiente de la composición del crudo que de la cantidad o dosis aplicada a la muestra; teniendo en cuenta que el efecto de la resina es directamente proporcional a la estabilidad de los asfaltenos en el crudo ya que ambos poseen estructuras similares

pero las resinas tiene un menor tamaño y una proporción mayor de cadenas parafínicas-anillos aromáticos.

Por lo que al evaluar un crudo de clasificación mediana y uno de clasificación pesada según su °API, (apéndice A) el crudo de clasificación mediana resulto tener en su composición asfaltenos más estables por ende el efecto de la resina fue que en 4 de ocho pruebas practicadas resulto dispersarlos, pero solo en una de estas pruebas fue de forma eficiente; es decir solo con 150 microlitros por debajo del capacidad establecida durante la prueba realizada con el solvente base (Xileno); mientras que al evaluar el crudo pesado, el comportamiento fue distinto, a pesar de que por la cantidad de componentes de alto peso molecular se tiene una mayor cantidad de asfaltenos presentes, la estabilidad de estos es menor en comparación , puesto que dispersó en tres pruebas de ocho realizadas, y de forma eficiente en las tres, es decir con hasta 400 micro litros por debajo capacidad establecida durante la prueba realizada con el solvente base (Xileno) ratificando la teoría ya explicada.

4.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DISPERSIÓN MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS DOS SUSTANCIAS XILENO Y PRODUCTO QUÍMICO

Tabla N° 4.9 Eficiencia porcentual de la muestra A

Productos químicos	Dosis aplicada (ml)	%Eficiencia	IE
5% resina de aceite de árbol - 95% Xileno	0,950	0	146,15

Continuación Tabla N° 4.9

10% resina 90 % Xileno	0,950	0	146,15
15% resina de aceite de árbol - 85%Xileno	0,950	0	146,15
20% resina de aceite de árbol - 80% xileno	0,950	0	146,15
25% resina de aceite de árbol - 75 % Xileno	0,833	12,32	128,15
30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0,950	0	146,15
35% resina de aceite de árbol - 25% Xileno	0,933	1,79	143,54
40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0,916	3,58	140,92

Tabla N° 4.10 Eficiencia porcentual de la muestra B

Productos químicos	Dosis aplicada (ml)	%Eficiencia	IE
5% resina de aceite de árbol - 95% Xileno	0,880	0	76,52
10% resina de aceite de árbol-90 % Xileno	0,880	0	76,52
15% resina de aceite de árbol - 85%Xileno	0,880	0	76,52
20% resina de aceite de árbol - 80% xileno	0,780	0	76,52
25% resina de aceite de árbol - 75 % Xileno	0,880	0	76,52
30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0,880	0	76,52

Continuación Tabla N° 4.10

35% resina de aceite de árbol - 25% Xileno	0,613	30,34	53,3
40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0,446	49,32	38,78

De acuerdo con los resultados obtenidos en las tablas (4.10) y (4.11) demuestran que no todos los productos químicos formulados en base a resina de aceite de árbol y xileno presentaron una actividad dispersante, es decir, que el uso de los productos químicos a base a resina de aceite de árbol fueron eficientes en la dispersión de los asfaltenos presentes en el crudo solo en concentraciones determinadas, la eficiencia de los productos químicos se tomó en base a la actividad del solvente orgánico (xileno), con la resina de aceite de árbol y la influencia que esta ejerció sobre la capacidad de dispersión de los asfaltenos. El producto presentó mayor actividad dispersante para la muestra A, en concentraciones de 25%, 35% y 40% de resina de aceite de árbol, mientras que para la muestra B la mayor actividad dispersante se registró a concentraciones de 35% y 40%.

Con base en las pruebas practicadas se tiene a pesar de que los productos químicos evaluados en la muestra A presentan una mayor actividad dispersante, en comparación con la muestra B, en términos de eficiencia el mayor efecto fue registrado en la muestra B, debido a la estabilidad composicional del crudo, dicha estabilidad quedó en evidencia mediante la caracterización previamente realizada,

observándose así que en crudos más estables tiene una mayor tendencia a dispersar de forma eficiente a altas concentraciones de resina.

Tabla N° 4.11 Mínima Diferencia de la Muestra A

Concentraciones	Mínima diferencia significativa	Resultados	+/-Límites
5% resina de aceite de árbol - 95% Xileno	0	Igual	0,0017154
10% resina de aceite de árbol- 90 % Xileno	0	Igual	0,0017154
15% resina de aceite de árbol - 85%Xileno	0	Igual	0,0017154
20% resina de aceite de árbol - 80% xileno	0	Igual	0,0017154
25% resina de aceite de árbol - 75 % Xileno	0,117	Diferentes	0,0017154

Continuación Tabla N° 4.11

30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0	Iguals	0,0017154
35% resina de aceite de árbol - 25% Xileno	0	Iguals	0,0017154
40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0	Iguals	0,0017154

Tabla N° 4.12 Mínima Diferencia de la Muestra B

Concentraciones	Mínima diferencia significativa	Resultados	+/-Límites
5% resina de aceite de árbol - 95% Xileno	0	Iguals	0,00594232
10% resina de aceite de árbol- 90 % Xileno	0	Iguals	0,00594232

Continuación Tabla N° 4.12

15% resina de aceite de árbol - 85% Xileno	0	Iguals	0,00594232
20% resina de aceite de árbol - 80% xileno	0,11	Diferentes	0,00594232
25% resina de aceite de árbol - 75 % Xileno	0	Iguals	0,00594232
30% resina de aceite de árbol 70% Xileno	0	Iguals	0,00594232
35% resina de aceite de árbol - 25% Xileno	0,267	Diferentes	0,00594232
40% resina de aceite de árbol 60% xileno	0,434	Diferentes	0,00594232

Con el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1 se realizó una prueba de mínima diferencia significativa la cual aplico al procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que fueron significativamente diferentes unas de otras. A los resultados obtenidos en las tablas (4.12 y 4.13) las diferencias

estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95%. La eficiencia de los productos se tomo en base a la actividad del solvente orgánico (Xileno)

Se debe considerar que cada crudo en particular tiene una estructura molecular de asfaltenos propia o característica del mismo, por lo que en algunas ocasiones se pueden conseguir productos dispersantes que actúan satisfactoriamente en un crudo, pero sin embargo, al ser aplicado en otro con características similares actúa de forma diferente, de acuerdo con los resultados obtenidos la aplicación de los productos químicos en base a solvente orgánico y resina resulto tener una mayor eficiencia en dosis de 25%,35% y 40% para la muestra A (tabla 4.11) mientras que la muestra B se obtuvo en dosis de 35% y 40%(tabla 4.13),siendo estos los que representan una alta eficiencia y diferencia significativa con respecto a los demás

Cabe destacar que todos los resultados obtenidos no presentaron una diferencia significativa con respecto al xileno, por lo que se infirió que la efectividad de la resina de aceite de árbol como dispersante de asfaltenos en el crudo es poco eficiente en las concentraciones menores al 20% para las muestras estudiadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La caracterización del crudo son fundamentales a la hora de hablar del efecto de la resina de aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) como dispersante de asfaltenos.

La resina de aceite de árbol (*Copaifera officinalis*) tiene propiedades dispersantes ya que químicamente está estructurada por sesquiterpenos, los cuales son hidrocarburos de carácter aromáticos, que interactúan con los asfaltenos promoviendo su redisolución.

A medida que un crudo es menos estable en comparación a las muestras estudiadas, requerirá una menor cantidad de precipitante (n-heptano) para lograr la floculación de los asfaltenos de forma más rápida, y estos, tendrán un comportamiento de forma más inestable, en presencia de un producto químico en base a solvente orgánico y la resina del árbol

La aplicación de un producto químico en base a solvente orgánico y la resina del árbol de aceite comienza a causar efecto sobre la floculación de asfaltenos presentes en las muestras evaluada a partir de concentraciones de 20% para la muestras A y 35% eficiente para la muestra B, por ser más estable.

El mayor efecto se observó en las concentraciones del 25% para las muestras de crudo en estudio A, y de 40 % para las muestras en estudio del crudo B, la eficiencia del producto químico se vio mayormente influenciada por las composiciones de los

crudos, que por las concentraciones de dicho producto, obteniéndose así un dispersante de alta eficiencia solo para ciertos crudos y condiciones.

Estadísticamente la mínima diferencia significativa más relevante se visualizo en el crudo A en la concentración de 20% mientras que en el crudo B fue en concentraciones de 25, 35, 40%.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el estudio de la resina de aceite de árbol como dispersante de asfaltenos, variando la temperatura y el tiempo de contacto.

Asimismo, se recomienda continuar con el estudio de la resina de aceite de árbol en su concentraciones más eficientes las cuales fueron de 25% para la muestra A y 40% para la muestra B, con el objetivo de determinar su comportamiento y efectividad en crudos de otra composición

Realizar un estudio sobre la aromaticidad de las resinas y de los asfaltenos para conocer la tendencia de la influencia de los productos químicos.

Efectuar estudios del aceite de árbol para ver si puede ser utilizado como emulsificante o desmulsificante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAYON, M. (2004). Asfaltenos (Ocurrencia y floculación). Universidad de los Andes, Mérida.
- ANDERSON AND LEKKERKERKER, (2002). Nature (pg 416,804).
- ARIAS, F. (2006). “El proyecto de investigación”, Editorial Episteme, Caracas, Venezuela.
- BERMÚDEZ, A. Y GUARIQUE. (2000).”Determinación de la influencia de la temperatura y la viscosidad sobre la precipitación de asfaltenos en pozos productores de hidrocarburos en el campo santa barbará. Trabajo especial de grado UDO, Ingeniería de Petróleo, Puerto la cruz.
- BURKE N, RONALD E. Y SANIR. (1988). Medición y modelización de la precipitación de asfaltenos de depósitos directos.
- CAMACHO, R. (2006). Uso y conservación de la diversidad forestal. pp-45 México.
- ESLAVA G. (2000). fenómeno de agregación de los asfaltenos pp. 10– 20, México.
- CHANG R. (2007). Química. (Novena ed., pg. 1110), México.
- FUSSEL (1979). Modelaje del comportamiento termodinámico molecular de los asfaltenos. Cuaderno SPE 56572.

- GALENA,C (2003). Desarrollo y aplicación de métodos teóricos y experimentales para el estudio de la termodinámica y el flujo de mezclas complejas de hidrocarburos. Artículo Ind. &Eng México.
- GARCÍA, C. Y MORENO, S. (2005). Diseño de un equipo para la medición de la precipitación de asfaltenos y la evaluación de productos químicos inhibidores/dispersantes bajo condiciones de operación. Trabajo de grado publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.
- GARCÍA M, & RODRÍGUEZ M. (2005). Caracterización de *asfaltenos* como trampas moleculares. Pg .97.
- HIRSCHBERG A. (1984). Influencia de la temperatura y presión en la floculación de asfaltenos, Jornadas SPE.
- HIPERNATURAL. (2011). [Página web en línea]. Disponible en: http://www.hipernatural.com/es/pltpalo_del_aceite.html.
- KAWANACA Y OTROS (1989).Papel de los asfaltenos en su deposición en los procesos EOR. Cuaderno SPE 17376.
- KOKAL Y SAYEGH (1988). Reducción de los problemas de emulsión controlando la solubilidad y precipitación de asfaltenos. Cuaderno SPE 0700.
- LARA, B. EDYS, C (2010). Evaluación del uso de la resinas de sábila como inhibidor de la floculación de asfaltenos. Trabajo de grado publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

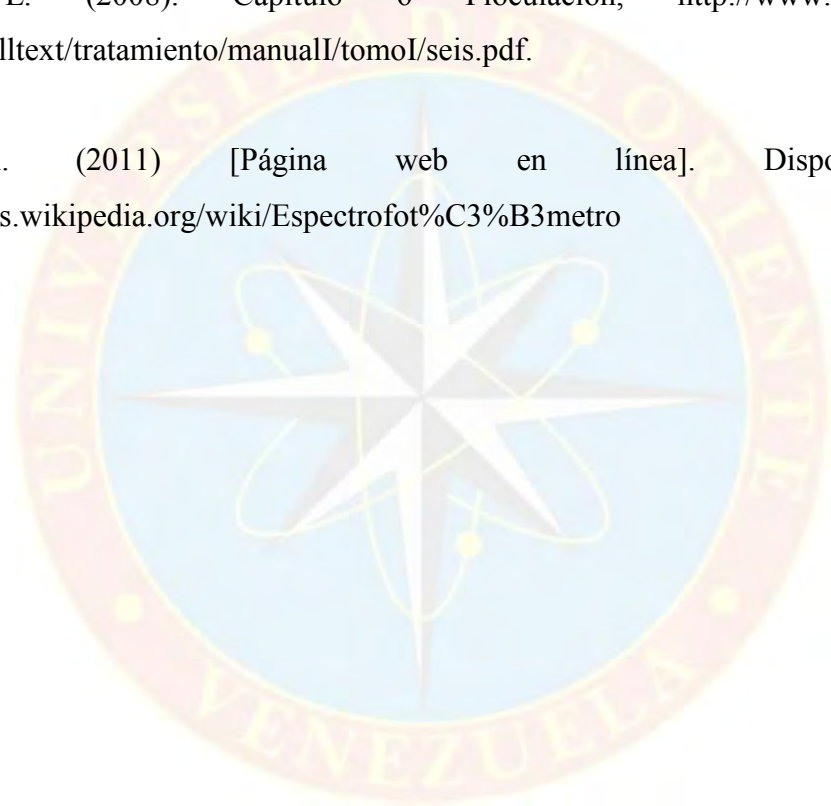
- LEONETT Y BENÍTEZ. (2011). Evaluación del uso de productos químicos en base a resinas del árbol de aceite (*Copaifera Officinalis*) como inhibidores de asfáltenos. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Maturín.
- LEONTARITIS Y MANSOORI (1987). Estudio de campo experimental y accesos de investigación. Jornadas SPE.
- MELDRUM AND SEARS, (2008). Science, (pg 322, 1802).
- MARIN R. (2000). Caracterización estructural de *asfalteno*.
- MONSOORI G. (2001). Asphaltene flocculation and collapse from petroleum fluids. *Jurnal petroleum science and engineering*. (pg32,217).
- NEKRASOV Y. (1996), "Geochemistry, Mineralogy and Genesis of Gold Deposits", Taylor & Francis, (pg.135,136).
- NICHOLSON J. (2006). *The Chemistry of Polymers*, 3rd ed. University of Greenwich.
- OILFIELD REVIEW.(2008) Caracterización de la permeabilidad y mejora de las tuberías. Slumberger.
- PARK, S. Y MANSOORI, G. (1988). Organic Deposition from heavy petroleum crude (A Fractal Agregation Theory Approach).proc.Unitar-Undp 4° Int conf.on heavy Crude and tar sands, Edmonton, Canada.
- RIVAS, O. (1994). Desarrollo de una metodología sistemática para el control de la precipitación de Asfaltenos, *Visión tecnológica*, vol. 2, N°2.

RUSSELL J. Y BOULDING S. (1970). Practical "Handbook of soil, vadose zone and ground-water contamination. Assessment, prevention and remediation". Edita: Lewis Publishers.

SHINODA K. (1963) "Colloidal Surfactants", Academic Press, New York.

•VARGAS L. (2008). Capítulo 6 Floculación, <http://www.cepis.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/seis.pdf>.

WIKIPEDIA. (2011) [Página web en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Espectrofot%C3%B3metro>





APÉNDICES



APÉNDICE A

**MUESTRA DE CÁLCULO Y TABLAS
UTILIZADAS**

A Muestra de Cálculo

A.1 Gravedad API de las muestras

Se utilizó el método del hidrómetro para determinar la gravedad API de cada una de las muestras, seleccionando el hidrómetro correspondiente a cada una para realizar la lectura directamente del instrumento



Tabla A.1. Clasificación del petróleo según su gravedad API

PETROLEO	°API
Condensado	≥ 40
Liviano	30-40
Mediano	22-22,9
Pesado	21,9-10
Extra pesado	≤ 10

Tabla A.2. calculos de la gravedad API de las muestras de crudo a mediante el programa de corrección de la gravedad API @60°F

MUESTRAS	DENSIDAD (g/ml)	API (hidrómetro)	API (corregido)	Temp. (°C)	Clasificación
A	0,8865	29,845	28,6	25,8	Mediano
B	0,9167	23,4	21,9	27,5	Pesado

A.2 CÁLCULO DE LA DENSIDAD POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO

Se calculó la densidad mediante la siguiente fórmula, de igual forma para ambas muestras de crudo

Ecuación para determinar la densidad por el método del picnómetro

$$\rho_o = \frac{w_{op} - w_p}{v_p} \quad \text{Ec(3.1)}$$

Donde:

ρ_o : Densidad del crudo (g/ml)

w_{op} : peso del picnómetro lleno (g)

w_p : peso del picnómetro vacío (g)

v_p : volumen del picnómetro (ml)

Cálculos realizados para la muestra A:

Volumen del picnómetro (ml): 49,475

Peso del picnómetro vacío (g): 39,3105

Peso del picnómetro lleno(g): 83,1712

=

$$\rho_{0A} = \frac{(83,1712 - 39,3105) \text{ g}}{49,475 \text{ ml}}$$

$$\rho_{0A} = 0,886 \text{ g/ml}$$

$$\rho_{0B} = 0,9167 \text{ g/ml}$$

A.3 Cálculo de la viscosidad de la muestra A

Las viscosidades de las muestras fueron determinadas a través del viscosímetro de Bookersfield.

$\mu = 41,80 \text{ cP}$ a una Temp. de $25,6^\circ \text{C}$ para la muestra A

$\mu = 48,62 \text{ cP}$ a una Temp. de $25,6$ para la muestra B

Una vez obtenidos estos datos se procedió a calcular la viscosidad cinemática

$$\mu_{\text{cinemática}} = \frac{\mu_{\text{dinámica}} (\text{cP})}{\text{densidad} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)} \quad \text{Ec(3.5)}$$

Para las muestras se obtuvieron los siguientes resultados

$$\mu_{\text{cinemática A}} = \mu_{\text{cinemática A}} = \frac{41,80}{0,886}$$

$$\mu_{\text{cinemática A}} = 47.178 \text{ stock}$$

$$\mu_{\text{cinemática B}} = \frac{48,62}{0,9167}$$

$$\mu_{\text{cinemática B}} = 53,038$$

A.4 Cálculo del porcentaje de asfaltenos mediante el método del refractómetro

$$\%Asf = A \exp^{-B \times API} \times (C \times nD^2 + D \times nD + E) \quad \text{Ec (3.4)}$$

Donde:

$$A = 10357,497$$

$$B = 0,0140116$$

$$C = 0,2498821$$

$$D = 0,0046908$$

$$E = -0,563015$$

$$\%Asf_{\text{crudo A}} = 3.41$$

A.5 cálculo de la eficiencia porcentual de los productos químicos evaluados

$$\%E = \left(\frac{\text{volumen del xileno} - \text{volumen del producto}}{\text{volumen del xileno}} \right) \times 100 \quad \text{Ec (3.2)}$$

Donde:

%E: porcentaje de eficiencia

Muestra de cálculo:

Para la muestra de crudo a:

$$\%E = \left(\frac{0,950 - 0,950}{0,950} \right) \times 100 = 0$$

$$\%E=0$$

$$\%E = \left(\frac{0,950 - 0,833}{0,950} \right) \times 100 = 12,32\%$$

$$\%E=12,32\%$$

Para la muestra de crudo B:

$$\%E = \left(\frac{0,880 - 0,880}{0,880} \right) \times 100 = 0$$

$$\%E=0$$

$$\%E = \left(\frac{0,880 - 0,613}{0,880} \right) \times 100 = 30,34$$

$$\%E=30,34\%$$

A.6 Calculo de estabilidad de los productos químicos

$$IE = \frac{\text{Solubilidad}}{\text{Insolubilidad}} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Dónde:

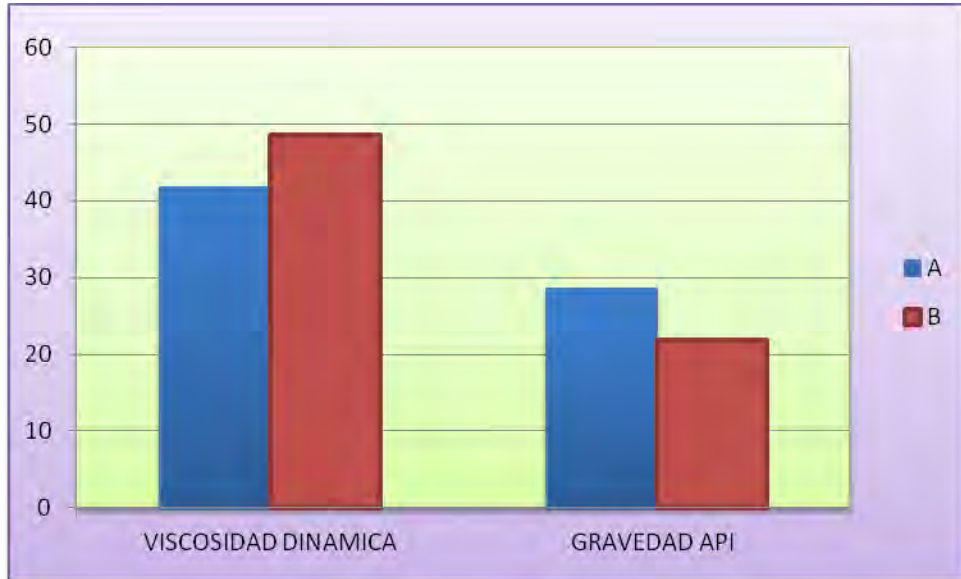
IE: índice de estabilidad (μl xileno/ml heptano)



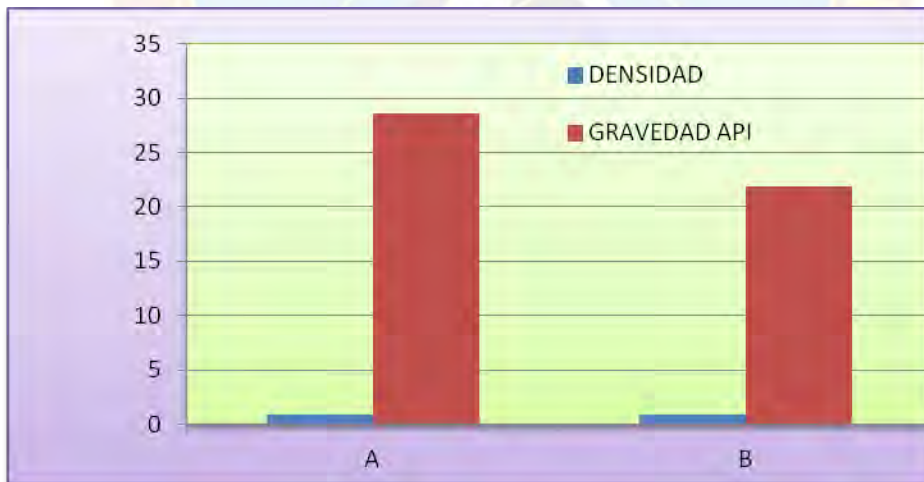
APÉNDICE B

Gráficos utilizados

B.1 Grafico viscosidad dinámica vs Gravedad API de las dos muestras de crudo



B.2 Grafico Densidad vs API de las muestras de crudo




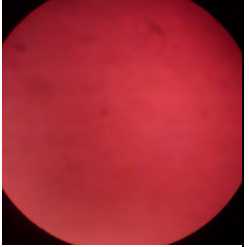


APÉNDICE C

Registro de Imágenes

C.1.- Microfotografías de las Muestras Analizadas a través del Método Visual

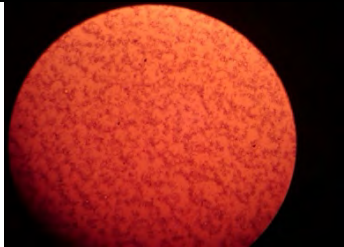
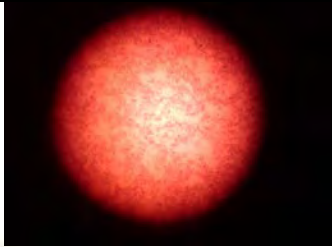
Titulación con heptano y umbral de floculación con Xileno

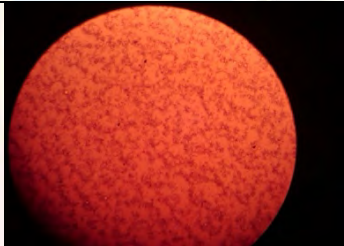
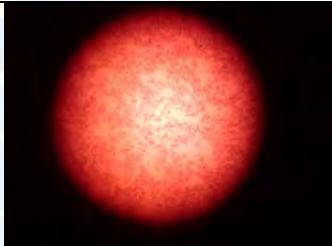
		
Muestra de crudo A limpia	Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 0,950ml xileno

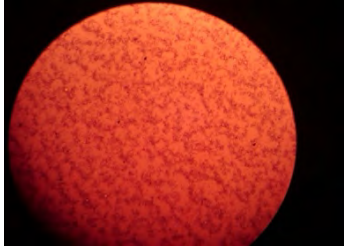
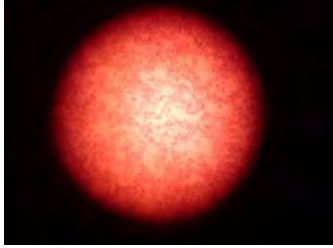
		
Muestra de crudo B limpia	Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 0,880ml Xileno

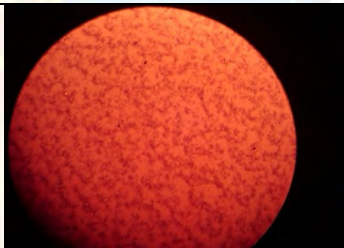
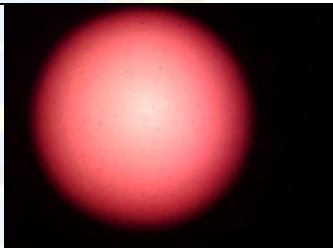
C.2.- Microfotografías de las Muestras Analizadas a través del Método Visual

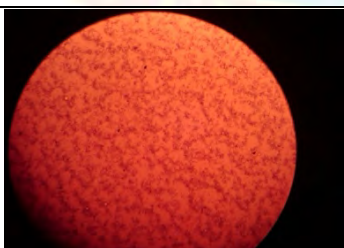

Muestras dosificadas con el producto químico preparado

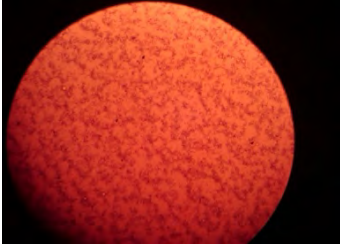

	
<p>Muestra de crudo A 6,5ml Heptano</p>	<p>Muestra de crudo A 5% resina de aceite de árbol -95% xileno(0,950ml)</p>

	
<p>Muestra de crudo A 6,5ml Heptano</p>	<p>Muestra de crudo A 10% resina de aceite de árbol -90% xileno(0,950ml)</p>

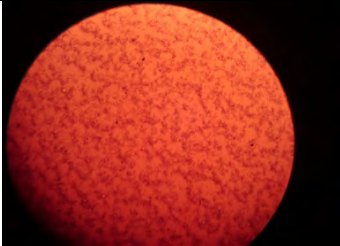

	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 10% resina de aceite de árbol -90% xileno(0,950ml)

	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 20% resina de aceite de árbol -80% xileno(0,950ml)

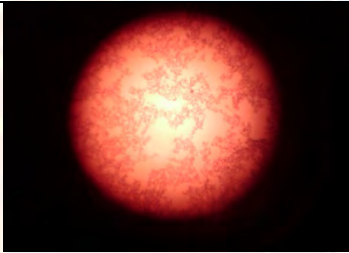
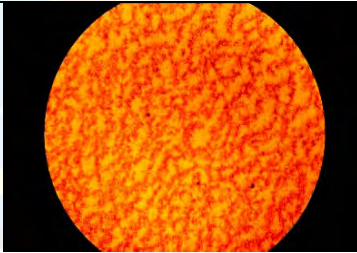
	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 25% resina de aceite de árbol -75% xileno(0,833ml)

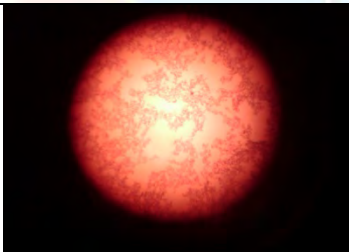
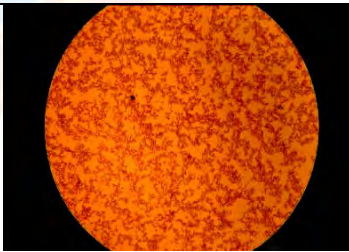
	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 30% resina de aceite de árbol -70% xileno(0,950ml)

	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 35% resina de aceite de árbol -65% xileno(0,933ml)

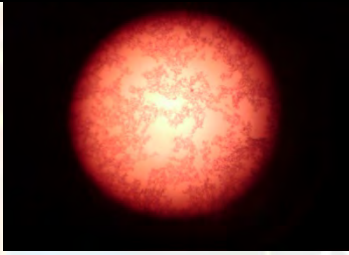
	
Muestra de crudo A 6,5ml Heptano	Muestra de crudo A 40% resina de aceite de árbol -60% xileno(0,916ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 5% resina de aceite de árbol -95% xileno(0,880ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 10% resina de aceite de árbol -90% xileno(0,880ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 15% resina de aceite de árbol -85% xileno(0,880ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 20% resina de aceite de árbol -80% xileno(0,780ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 25% resina de aceite de árbol -75% xileno(0,916ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 30% resina de aceite de árbol -70% xileno(0,880 ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 35% resina de aceite de árbol -65% xileno(0,933ml)

	
Muestra de crudo B 11,5ml Heptano	Muestra de crudo B 40% resina de aceite de árbol -60% xileno(0,916ml)

C.3.- Equipos y materiales usados.



Figura C.3.1. Balanza Analítica



Figura C.3.2. Mufla de Calentamiento



Figura C.3.3. holplay



Figura C.3.4. Microinyectora



Figura C.3.5. Microscopio

APÉNDICE D

Programas utilizados



D.1 Programa de corrección de la Gravedad API

El Programa calcula el valor de la Gravedad API estándar (60 °F y 14,7 lpc) mediante ecuaciones obtenidas a partir de las tablas estándares de la ASTM (TABLE 2 (ASTM TABLE 5) REDUCTION OF OBSERVED API GRAVITY TO API AT 60 °F).

Para la obtención de las ecuaciones se aplicaron métodos numéricos, debido a que la Gravedad API depende tanto de la temperatura como de la Lectura hecha de la misma a temperatura ambiente, lo que ameritó el desarrollo de ecuaciones de la forma:

$$API @ 60^{\circ} F = f(T, API @ Tamb)$$

Debido a que el comportamiento de la Gravedad API con respecto a las dos variables es lineal, se plantearon ecuaciones lineales en dos variables tomando como referencia los métodos de Lagrange y el de interpolación lineal simple. Esto se realizó para diferentes intervalos de API, según la clasificación del petróleo (pesado, mediano y liviano). Las Ecuaciones desarrolladas son las siguientes:

$$API \leq 19,9$$

$$API @ 60^{\circ} F = (0,019333333API @ T - 0,031333333)(T - 50) - (0,020222222API @ T + 0,007777778)(T - 100)$$

$$20 \leq API \leq 29,9$$

$$API @ 60^{\circ} F = (0,019333333API @ T - 0,030666667)(T - 50) - (0,020222222API @ T + 0,007555556)(T - 100)$$

$30 \leq API \leq 39,9$

$$API @ 60^\circ F = (0,01911111111API @ T - 0,025333333)(T - 50) - (0,020222222API @ T + 0,007333333)(T - 100)$$

$40 \leq API \leq 49,9$

$$API @ 60^\circ F = (0,019128205API @ T - 0,029282051)(T - 50) - (0,02025641API @ T + 0,007435897)(T - 100)$$

El Rango de Temperatura para la aplicación de las ecuaciones es de 50 a 100 °F

Ing. Tomás Marín



D.2 Programa Statgraphics Plus Version 5

STATGRAPHICS PLUS para Windows tiene una estructura modular constituida por 3 modulos diferentes, en los que podrá encontrar más de 150 procedimientos de distribución. El Modulo Básico aporta todas las herramientas estadísticas básicas. A partir de éste se pueden seleccionar las funciones estadísticas adicionales necesarias en los otros módulos.

El programa presenta un importante conjunto de novedades, que aumentan sus reconocidas capacidades en cuanto a potencia de cálculo y gráfica, flexibilidad, racionalidad, facilidad de uso y relación prestaciones/precio.

Las principales novedades son las siguientes:

- Un Editor Estadístico (StatReport), que desde el propio STATGRAPHICS Plus nos ofrece la posibilidad de preparar informes, con gráficos y tablas cambiantes cuando cambian los correspondientes datos y análisis efectuados. Este editor permite cambiar tipos de letra, color y tamaño de las mismas, así como configurar páginas, sin salir – repetimos- de STATGRAPHICS Plus.
- Un Asistente Estadístico (StatWizard), que ayuda de una manera efectiva a seleccionar en cada caso el procedimiento que mejor se adecue a recopilar y analizar nuestros datos.

· Un Enlace Estadístico (StatLink), que nos permite enlazar el Libro de Análisis (Statfolio) con el que estemos trabajando con nuestra fuente de datos.

· Mayor y más fácil control de las reconocidas Capacidades Gráficas del paquete, a través de un solo cuadro de diálogo.

· Aumento de las capacidades de Control de Calidad y Diseño de Experimentos, con los siguientes nuevos procedimientos:

- Nuevos diseños para factores completos o de nivel mixto fraccionario.
- Diseños de 12 y 24 ensayos para 3-6 factores.
- Diseños mixtos, permitiendo los controles tanto superior como inferior de las restricciones
- Diseños basados en el mejor comportamiento de la varianza.
- Factores categóricos únicos o múltiples.
- Diseños para el análisis de los componentes de la varianza y estudios gage R&R.
- Optimización gráfica y numérica
- Gráficos de Control para procesos con un alto Cp.
- Muestreo de aceptación.
- Gráficos de Control, para tratar observaciones individuales o en subgrupos serialmente correlacionadas.

- Gráficos de Control CuSum.
- Gráficos de espina de pescado (fishbone).
- Nueva implementación del Análisis de Capacidad de Proceso, que permite diferenciar entre p_k y C_{pk} .
- Recálculo de los Límites de Control.
- Cómputo de los límites de tolerancia normal, basados en valores conocidos de la media, la desviación típica y el tamaño de la muestra; y Gráficos instrumentales incorporados.

La Versión 5 de STATGRAPHICS Plus se ofrece como dos productos diferentes, a saber:

- * STATGRAPHICS Plus Standard Edition (Módulo Básico).
- * STATGRAPHICS Plus Professional (Módulo Básico, Control de Calidad, Diseño de experimentos, Series Temporales, Análisis Multivariante y Regresión Avanzada).

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	EVALUACIÓN DE LA RESINA DE ACEITE DE ÁRBOL (<i>COPAIFERA OFFICINALIS</i>) COMO AGENTE DISPERSANTE DE ASFALTENOS
Subtítulo	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ance K Rodríguez C.	CVLAC	18 653 648
	e-mail	Issabela_186@hotmail.com
	e-mail	
Scarleth N. Gaspar G.	CVLAC	17.707.996
	e-mail	Scarleth1@hotmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Asfalteno
Floculación
Dispersión

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA DE PETROLEO

Resumen (Abstract):

Los asfaltenos son fracciones de alto peso molecular que se encuentran presentes en el crudo en suspensión coloidal, gracias a la presencia de agentes peptizantes como lo son las resinas, dichas fracciones al ser sometidas a algún desequilibrio termodinámico, mecánico, condiciones composicionales o régimen de flujo, tienden agruparse, formar flóculos y puede llegar a producirse su precipitación, representando uno de los problemas más relevantes a nivel de producción que afecta a muchos campos petroleros de gran potencial en el país. Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de evaluar el uso de la resina del árbol de aceite (*Copaifera officinalis*) como agente dispersante de asfaltenos, para lo cual se obtuvo la resina del aceite de árbol a través de un rotoevaporador, posteriormente se elaboraron (8) productos químicos en base a la mezcla de solvente orgánico (xileno) y resina del árbol de aceite, las dos muestras de crudo seleccionadas para el estudio son provenientes del Norte del Estado Monagas, a las cuales se les realizó su caracterización y determinación del umbral de floculación a través del método óptico, las dos muestras de crudos fueron dosificados con los productos químicos y se determinó la capacidad de dispersión para cada uno estableciendo su eficiencia, comparándose con la capacidad de dispersión del solvente orgánico comercial (xileno). Entre los resultados más relevantes obtenidos se tiene que la aplicación del producto químico en base a resina del árbol de aceite aplicado a las muestras de crudo, generaron una variación positiva en la capacidad de dispersión del producto químico a medida que se incrementó la dosis aplicada visualizándose a partir de concentraciones de 20% para la muestra A y de 35% en la muestra B, siendo un factor determinante las características composicionales de la muestra y el tiempo de contacto de la misma al producto químico.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Prof. Tomas Marín	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I.: 11 538 773
	e-mail	tdmarin@hotmail.com
	e-mail	
Prof. Fernando Pino	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I.: 9 299 078
	e-mail	Fpino@cantv.net
	e-mail	
Profa. María García	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I.: 15 510 689
	e-mail	mariacgarcial@hotmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2012	12	10

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
ANCE KARINA RODRIGUEZ.DOCX

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

INGENIERIA DE PETROLEO

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: INGENIERIA

Área de Estudio:

TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE NUCLEO MONAGAS

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>[Signature]</i>
FECHA 5/8/09 HORA 5:20

Cordialmente,

[Signature]
JUAN A. BOLANOS CUNVELO
Secretario

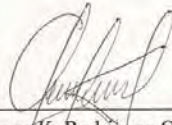
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

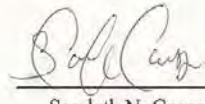
Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

Derechos:

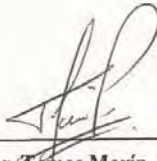
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”



Aneé K. Rodríguez C.
C.I.: 18 653 648
AUTORA



Scarleth N. Gaspar G.
C.I.: 17 707 996
AUTORA



Ing. Tomás Marín
C.I.: 11 538 773
TUTOR