

Determinación del punto de precipitación de los asfaltenos en crudos venezolanos

Determining the precipitation point in Venezuelan crude asphaltenes

Gafanhao*, Marilyn; Iglesias, Edinzo y Delgado, José
Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes.
Mérida, 5101. Venezuela
*mgafanhao@ula.ve

Recibido: 07-11-2007

Revisado: 22-10-2008

Resumen

En el trabajo, se determina el punto de floculación de los asfaltenos utilizando diferentes técnicas experimentales reportadas en la literatura, para varios crudos venezolanos. Estos crudos fueron escogidos por la poca información que sobre sus puntos de precipitación se reporta en la literatura. Entre los métodos usados se encuentran: el método de la mancha sobre papel, el método de medición de conductimetría y las pruebas reológicas. Los resultados muestran que existe una buena concordancia entre los puntos de precipitación determinados con cada uno de los tres métodos empleados.

Palabras clave: Asfaltenos, precipitación, mancha sobre papel, reología, conductimetría.

Abstract

In present work, for several Venezuelans crudes the asphaltenes flocculation points by using different reported in literature experimental techniques are determined. The crudes were chosen by the modest information on their precipitation points reported in literature. Among the used methods there are: the blot on paper method, the conductivity measurement method and the rheological tests. Obtained results show good agreement among the precipitation points determined by the three methods.

Key words: Asphaltenes, precipitation, spot on paper, rheology, conductivity.

1 Introducción

Los asfaltenos han sido objeto de estudio desde hace mucho tiempo, los primeros trabajos publicados se remontan a la década de 1930 por parte de Nellensteyn, Pfeiffer y Saal en donde se discute la naturaleza coloidal de los asfaltenos (Alayon, 2004).

Son muchas las investigaciones que en torno a estas sustancias se han realizado desde entonces.

La definición de lo que puede ser considerado asfaltenos es variada, algunos autores consideran que son la fracción más polar y pesada presente en el crudo, insoluble en alcanos lineales (nC_5 a nC_8) y soluble en solventes como benceno y tolueno (Liao, 2000).

Otros autores consideran que son los sólidos depositados al mezclarse un crudo con n-pentano. Así también consideran a los asfaltenos como moléculas planas, poli aromá-

ticas y policíclicas que contiene heteroátomos y metales, que existen en un estado de agregación y suspendidas en el crudo, rodeadas y estabilizadas por agentes peptizantes llamados resinas (Alayon, 2004).

Desde el punto de vista coloidal, los asfaltenos, las resinas y los alcanos forman un sistema estable. Los alcanos actúan como solventes, los asfaltenos actúan como micelas, dado sus estado de agregación y las resinas como estabilizadores. Este sistema puede ser alterado o simplemente desestabilizado por cambios de temperatura, presión y/o composición del crudo, lo que origina la precipitación de los asfaltenos (Zewen, 2000).

Debido a la complejidad molecular de los asfaltenos no es posible conocer con exactitud su estructura. Sin embargo, se han desarrollado exitosamente modelos estructurales que permiten explicar muchas de las propiedades de los asfaltenos. En el modelo propuesto por Yen y Colabo-

radores (Alayon, 2004). Los asfaltenos forman láminas de sistemas aromáticos condensados, interconectadas por grupos sulfuros, éter o cadenas alifáticas. Según este modelo, los puentes de hidrógeno y las interacciones dipolo-dipolo causan la agregación de los asfaltenos en micelas cuando la concentración de estos en el crudo es suficientemente alta.

Recientemente se han publicado trabajos (Alayon, 2004), donde se presentan los asfaltenos como macroestructuras con un peso molecular entre 800-3000, y con una estructura cuya matriz es un grupo de 4 o 5 anillos bencénicos, ligados por grupos nafténicos y con prolongaciones de tipo alquilo. En estos estudios se han utilizados técnicas como espectrometría de infrarrojo, resonancia magnética nuclear y difracción de rayos X.

1.1 Estabilidad coloidal de los asfaltenos

En los últimos 60 años un gran número de investigadores han estudiado la naturaleza de las fracciones pesadas del petróleo, y su mecanismo de asentamiento. Sin embargo, la compleja naturaleza de los compuestos involucrados ha hecho imposible encontrar una explicación completa a todos los fenómenos observados experimentalmente y en el campo industrial. Por tal motivo la investigación prosigue utilizando las técnicas más avanzadas disponibles (Branco, 2001).

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, 2004). Entre los factores más importantes se pueden mencionar:

- **La temperatura.** El poder de solubilización de componentes petroleros tales como resinas, maltenos, etc. Disminuye a medida que la temperatura del crudo disminuye. Lo que genera la desestabilización de agregados de resinas-asfaltenos que puede ocasionar precipitación de grandes cúmulos (Alayon, 2004).
- **La presión.** La disminución de presión ocasiona una reducción de la densidad del crudo, lo que trae como consecuencia la reducción de la distancia promedio entre los agregados resina-asfaltenos, lo que posibilita la floculación de grandes cúmulos y su consiguiente precipitación.
- **Cambios en la composición del crudo.** Si por causa del proceso de producción de crudo, se agregan sustancias al crudo, el cambio de composición altera el equilibrio coloidal y puede desencadenar la precipitación de los asfaltenos. Inyección de gas natural, diluentes, inyección de CO₂, surfactantes, ácidos, álcalis, mezclas de crudos, etc. son a sustancias que ordinariamente se usan en los procesos de producción, y que pueden ocasionar la precipitación.
- **Factores eléctricos.** Diversas investigaciones (Alayon, 2004), han establecido que la presencia de campos eléctricos, producidos por el flujo de los fluidos, puede llegar a desestabilizar los asfaltenos y hacerlos precipitar. Se ha determinado que los asfaltenos tienen una carga eléctrica intrínseca que estabiliza los agregados resinas-asfaltenos. Si un campo eléctrico externo interactúa con estas cargas puede causar la desestabilización de los agregados.

• **Factores mecánicos.** La fricción, cizallamiento, cambios súbitos de dirección y velocidad en los flujos, por efectos de bombeo pueden causar también la precipitación de los asfaltenos.

• **Otros factores.** La presencia de sólidos suspendidos en el crudo puede ocasionar la floculación, puesto que pueden actuar como núcleos donde se adhieren los coloides, aumentando de tamaño progresivamente los agregados, generando seguidamente la precipitación.

1.2 La precipitación de asfaltenos como problema operacional de la industria petrolera

En todas las fases de la industria petrolera se manifiesta en mayor o menor grado el fenómeno de la precipitación de asfaltenos. Durante la producción, transporte y procesamiento del crudo y sus derivados, la precipitación constituye un serio problema. Por ejemplo, en las refinerías los procesos de hidrotratamiento (HDT) de crudos pesados, los asfaltenos pueden llegar a depositarse sobre las superficies catalíticas produciendo la desactivación de los mismos.

En la etapa de explotación de los pozos de crudo, el problema se presenta por la presencia de zonas de los yacimientos denominadas Tar-Mats, las cuales contienen petróleo enriquecido con asfaltenos (20-60%). Estas zonas presentan una interfase entre el crudo y las discontinuidades geológicas, donde los asfaltenos pueden precipitar, ocasionando el taponamiento del yacimiento.

Otra etapa de la producción petrolera donde la precipitación de asfaltenos es un factor crítico es durante el transporte. Los cambios de presión, velocidad, adición de solventes, etc. Causan que los asfaltenos floculen y puedan precipitarse en las tuberías que conducen el crudo, pudiendo llegar a causar fallas en los sistemas de bombeos. La Fig. 1 muestra una tubería obstruida por asfaltenos precipitados.

Todo lo antes discutido da una visión clara de la importancia que, desde el punto de vista práctico, tiene la determinación de las condiciones bajo las cuales precipitan estos compuestos.



Fig. 1. Taponamiento de tubería ocasionado por la precipitación de los asfaltenos.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos al determinar, por tres medios independientes, los puntos de precipitación de los asfaltenos en diversos crudos venezolanos. Los métodos usados fueron: el de la mancha sobre papel, mediciones de viscosidad y mediciones de conductividad. Se escogieron los crudos venezolanos por la poca información publicada que existe al respecto y obviamente por su disponibilidad.

La organización del trabajo es como sigue: La sección 2 describe el procedimiento experimental seguido en cada una de las técnicas de medición utilizadas. La sección 3 presenta y discute los resultados obtenidos. Las conclusiones y recomendaciones se presentan en la sección 4.

2 Procedimiento experimental

Muestras de los crudos denominados: Furrial (proveniente del estado Monagas), Cerro Negro, Boscán, Hamaca, Jobo y Merrey fueron recolectadas para realizar el estudio.

Usando las distintas normas ASTM-D se realizó la caracterización de las muestras de crudo, determinando características fisicoquímicas tales como: densidad, gravedad específica, viscosidad cinemática, carbón Conradson, porcentaje de asfaltenos, contenido de azufre y contenido de vanadio. El anexo A, presenta los resultados experimentales obtenidos en las mediciones de gravedad API de las muestras de crudo.

Una vez caracterizadas las muestras se procedió a realizar las pruebas de precipitación utilizando el método de la mancha sobre papel, las pruebas de conductividad y viscosidad dinámica.

A continuación se explica los procedimientos experimentales que se siguen para la realización de la prueba de la mancha, conductividad y medidas reológicas.

2.1 Método de la mancha

Este método consiste en la observación de las manchas formadas por una gota de muestra (crudo + tolueno + heptano) sobre un papel de filtro; si los asfaltenos se encuentran bien dispersos se ve una mancha de color uniforme. Si estos ya han floculado la mancha exhibe una aureola central de color más oscuro.

Las muestras se prepararon pesando aproximadamente 3 g de muestra de crudo, que luego fue diluida con tolueno en una relación volumétrica 50:50. Esta proporción fue utilizada con todas las muestras de crudo a excepción del Furrial donde se utilizó 30:70. Posteriormente, utilizando una bureta se agregaron alícuotas de 1-4 ml de C₇ a la dilución crudo-tolueno, agitando el sistema continuamente 1 minuto, por cada ml agregado. Posteriormente se colocó 1 gota de la mezcla sobre un papel de filtro, observando el aspecto de mancha dejado por la gota. Las alícuotas de heptano se siguen agregando hasta obtener en la mancha sobre el papel, una aureola central más oscura que indica la precipitación de los asfaltenos. El punto de floculación es calculado apli-

cando la Ec. 1:

$$\% C_7 \text{ para Flocular} = \left(\frac{\text{Masade } C_7 \text{ agregado}}{\text{Masade Crudo} + \text{Masade } C_7 \text{ agregado}} \right) \times 100 \quad (1)$$

2.2 Método conductimétrico

En este caso, todo el procedimiento descrito para preparar las muestras de la mezcla crudo-tolueno-heptano fue reproducido. Pero esta vez a las muestras les midió la conductividad eléctrica, luego de añadir cada alícuota de C₇. Los valores de la conductividad de la mezcla fueron registrados, así como el respectivo volumen de C₇. Este procedimiento es realizado simultáneamente con el método de la mancha sobre papel, de tal manera de detener la adición de heptano y las mediciones de conductividad, una vez se ha superado el punto de floculación. Posteriormente se puede utilizar la información recabada para graficar la conductividad de las mezclas vs. El % de heptano, calculado según la Ecuación (1).

La conductividad de las muestras fue medida con un conductímetro marca RADIOMETER COPENHAGEN, modelo CDM210 MeterLab, usando un electrodo de vidrio.

Este método fue sugerido por (Fotland, 1993).

2.3 Método Reológico

Para este método se utilizaron aproximadamente 15 g de muestra de crudo, que fueron diluidos con tolueno usando las mismas relaciones empleadas en el método de la mancha sobre papel. Posteriormente se prepararon muestras con distintas alícuotas de C₇, agitando el sistema continuamente. A cada una de las diluciones se les midió la viscosidad dinámica, empleando para ello un reómetro marca Rheometric Scientific modelo SR-5000. Al igual que en el caso del método conductimétrico, simultáneamente se fue realizando la prueba de la mancha a cada una de las diluciones preparadas, para así poder determinar cuando detener la dilución con heptano y la medición de viscosidad. Se registraron los valores de viscosidad dinámica así como su respectiva dilución con heptano. Posteriormente se construyeron las graficas de viscosidad dinámica vs el %C₇.

3 Resultados

En los distintas Figs. (3,4,6,7,9,11,13 y15) se utiliza las siglas F, CN, B, H, J, M, para referirse a los crudos Furrial, Cerro Negro, Boscán, Hamaca, Jobo, Merrey, respectivamente. El punto de precipitación se reporta usando la sigla de cada crudo acompañada de la cantidad en ml de heptano, que ha generado la precipitación. Es decir al reportar el punto de precipitación como 9F, implica que con 9 ml de C₇, la mezcla de Furrial precipita sus asfaltenos.

A continuación se presentan los resultados para cada uno de los crudos estudiados

3.1 Crudo Furrial

El punto de floculación promedio de los asfaltenos del crudo Furrial, presenta como valor promedio 80,11 % de heptano agregado. En la Tabla 1, se reportan los diferentes porcentajes de heptano necesarios para producir la precipitación de asfaltenos, en varias repeticiones de la prueba de la mancha sobre papel. En la Fig. 2, se muestran fotos de la evolución de la mancha a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado al crudo Furrial.

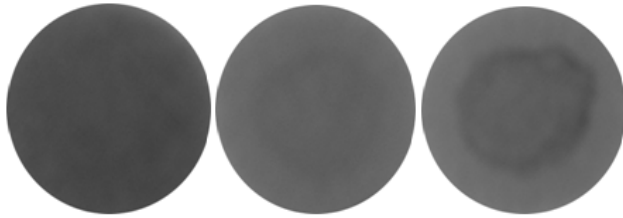


Fig. 2. Manchas para el punto de floculación y al final de la precipitación del crudo Furrial solución inicial (Figuras colocadas según el contenido creciente de heptano).

Tabla 1. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Furrial.

Muestra N°	% Heptano
3	81,95
4	76,21
5	80,30
6	78,36
7	81,67
8	81,94
9	81,72
10	79,16
11	79,47
12	78,37
13	82,01

En la Fig. 3, se representa la curva de conductividad para una muestra diluida de crudo Furrial se puede observar un máximo en la conductividad de la mezcla, que coincide con el punto de floculación de los asfaltenos; este punto es descrito por Fotland y colaboradores en su trabajo (Fotland, 1993). Para la muestra mostrada en la Fig. 3, se obtuvo un punto de floculación de 79,47% de heptano agregado; que coincide plenamente con lo encontrado en la prueba de la mancha sobre papel.

En la Fig. 4, se presenta la curva de viscosidad vs. % C₇ para el crudo Furrial. En la gráfica se observa un descenso gradual de la viscosidad dinámica, a medida que la mez-

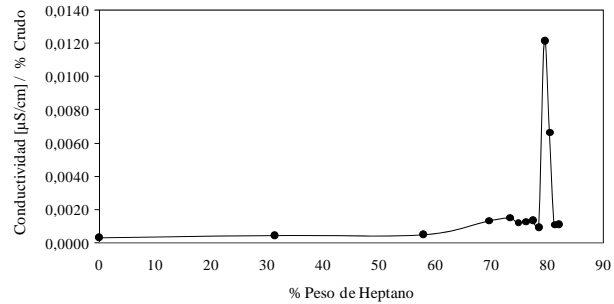


Fig. 3. Comportamiento de la conductividad para el crudo Furrial, muestra N° 11, el cual flocula en el punto 9F.

cla se hacía más diluida en heptano; la floculación ocurre en el punto 3F, donde se presenta una repentina elevación de la viscosidad, esto ocurre alrededor de 82,01 % de heptano agregado. Este resultado concuerda con la prueba de la mancha sobre papel realizada simultáneamente a la misma muestra de Furrial.

Es importante destacar que el comportamiento reológico observado en las diluciones de crudo Furrial, a medida que se incrementa la cantidad de heptano añadida, no ha sido reportado previamente y es distinto a lo encontrado con otros crudos (como se vera mas adelante) y a lo reportado en la literatura (Delgado, 2006 y Priyanto, 2001). Esto supone una particularidad propia de la naturaleza del crudo, es posible que las interacciones del sistema coloidal sean distintas a las observadas en otros crudos.

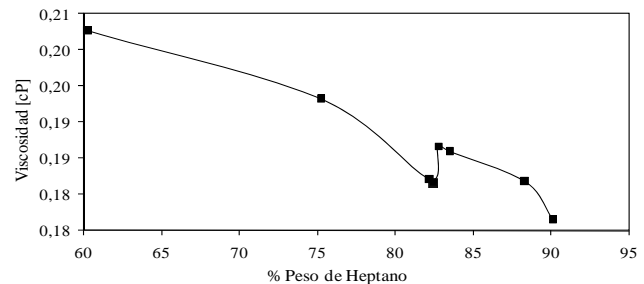


Fig. 4. Comportamiento de la viscosidad dinámica para Furrial, muestra N° 14, la cual flocula en el punto 3F.

Hay que tomar en cuenta también, que el crudo Furrial es una mezcla de crudos provenientes de yacimientos del Estado Monagas, lo que afecta enormemente las interacciones entre los asfaltenos y las resinas presentes.

3.2 Crudo Cerro Negro

Para la determinación del punto de precipitación de los asfaltenos en el crudo Cerro Negro; en primer lugar se realizó la prueba de la mancha sobre papel, repitiendo el procedimiento ya descrito. En la Fig. 5, se muestra una foto de la evolución de la mancha a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado al crudo Cerro Negro.

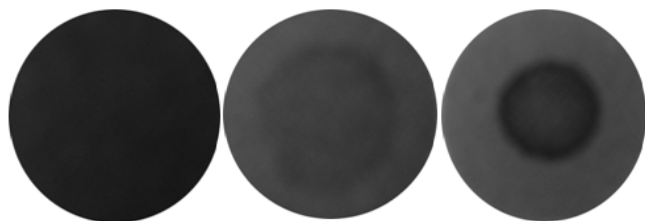


Fig. 5. Manchas para el punto de floculación y al final de la precipitación del crudo Cerro Negro solución inicial.

El punto de precipitación promedio calculado es de 77,16 % de heptano agregado a la dilución de crudo. En la Tabla 2, se reportan los diferentes porcentajes de heptano necesarios para conseguir la mancha que indica el inicio de la floculación de los asfaltenos, para diversas replicas experimentales.

Tabla 2. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Cerro Negro.

Muestra N°	% Heptano
1	79,06
2	78,90
3	78,17
4	77,40
5	75,41
6	77,25
7	74,09
8	78,54
9	77,32
10	77,28
11	76,74
12	75,79

La Fig. 6 muestra el comportamiento de una muestra de crudo Cerro Negro al realizar la prueba conductimétrica. Nuevamente se observa el pico característico en el punto de floculación de los asfaltenos, que para la muestra estudiada es 76,1% de heptano añadido.

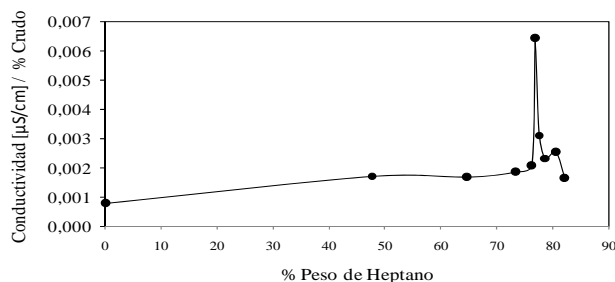


Fig. 6. Comportamiento de la conductividad para Cerro Negro muestra N° 11, el cual flocula en el punto 5CN.

Por otra parte en la Fig. 7, se muestra la gráfica de vis-

cosidad vs % heptano agregado para el Cerro Negro. Se observa una disminución de la viscosidad a medida que la mezcla crudo-tolueno se hace más diluida en heptano; en el punto 3CN se aprecia un cambio súbito en la pendiente de la curva. Este comportamiento normalmente se atribuye a la presencia de sólidos en el fluido (Delgado, 2006 y Priyanto, 2001); lo que en este caso indica la presencia de asfaltenos precipitados.

El punto de discontinuidad en la curva de viscosidad se presenta para 75,79 % de heptano añadido, valor que coincide perfectamente con el arrojado por el método de la mancha para tal muestra.

Los resultados mostrados anteriormente permiten verificar, la excelente concordancia entre las mediciones conductimétricas y reológicas, y el método de la mancha sobre papel para el crudo Cerro Negro.

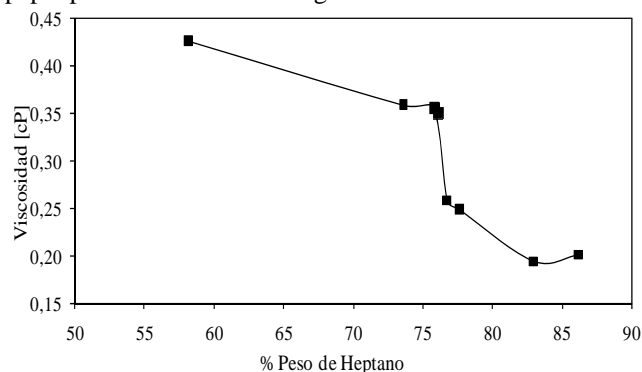


Fig. 7. Comportamiento de la viscosidad dinámica para Cerro Negro muestra N° 14, el cual flocula en el punto 3CN.

3.3 Crudo Boscán

El punto de floculación promedio de los asfaltenos del crudo Boscán proveniente del Estado Zulia, presenta como valor promedio 74,68% de heptano agregado. En la Fig. 8, se muestra una foto de la evolución de la mancha a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado al crudo Boscán. En la Tabla 3, se reportan los diferentes porcentajes de heptano necesarios para flocular los asfaltenos, en varias replicas de las mediciones.

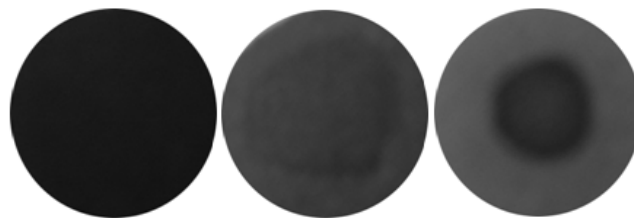


Fig. 8. Mancha para el crudo Boscán solución inicial, para el punto de punto de floculación y al final de la precipitación.

La Fig. 9 muestra el resultado de una prueba conductimétrica para el crudo Boscán. En este caso se observa que la conductancia eléctrica disminuye abruptamente, para

luego aumentar súbitamente en el punto de floculación de los asfaltenos. Un comportamiento distinto al mostrado por los crudos Furrial y Cerro Negro. Para la prueba mostrada el contenido de heptano necesario para la precipitación es de 76,05%. Nuevamente concordando con la prueba de la mancha sobre papel.

Tabla 3. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Boscán.

Muestra N	% Heptano
1	73,12
2	74,66
3	76,17
4	74,75
5	74,68

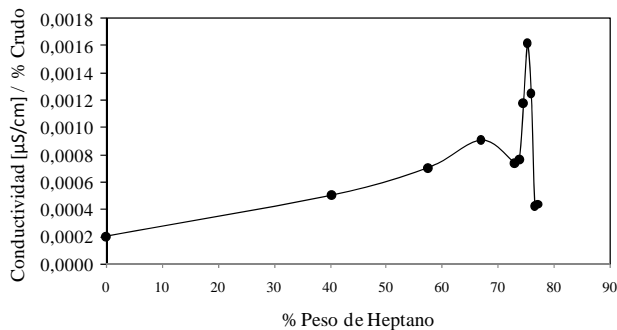


Fig. 9. Comportamiento de la conductividad para Boscán muestra N° 5, el cual flocula en el punto 9B. *Crudo Boscán*

3.4 Crudo Hamaca

Punto de floculación promedio de los asfaltenos del crudo Hamaca, proveniente de la Faja Petrolífera del Orinoco, fue calculado como 75,42% de heptano agregado. En la Fig. 10, se muestra una foto de la evolución de la mancha sobre papel, a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado al crudo Hamaca. En la Tabla 4, se observa los diferentes porcentajes de heptano necesarios para la floculación, para diversas repeticiones de las experiencias.



Fig. 10. Mancha para el punto de floculación y al final de la precipitación del crudo Hamaca solución inicial.

La Fig. 11 muestra el comportamiento conductimétrico para diluciones de Hamaca. Nuevamente aparece el pico máximo de conductividad, en el punto de floculación, para

un 75,26% de contenido de heptano. Al igual que para el crudo Boscán, antes del incremento súbito de conductividad, ocurre un ligero descenso en esta propiedad.

Tabla 4. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Hamaca.

Muestra N	% Heptano
1	76,03
2	76,08
3	75,39
4	75,04
5	74,55

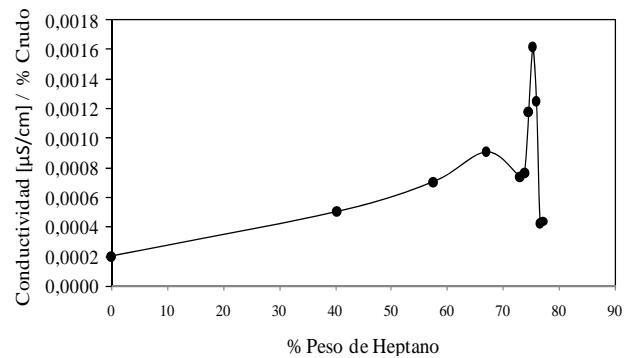


Fig. 11. Comportamiento de la conductividad para Hamaca muestra N° 5, el cual flocula en el punto 7H.

3.5 Crudo Jobo

El punto de floculación de los asfaltenos del crudo Jobo proveniente del estado Monagas, presenta como valor promedio 74,36% de heptano agregado. En la Fig. 12, se muestra una foto de la evolución de la mancha a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado. En la Tabla 5, se observa los diferentes porcentajes de heptano necesarios para conseguir la floculación, en diversas repeticiones de la experiencia.



Fig. 12. Mancha para el punto de floculación y al final de la precipitación del crudo Jobo solución inicial.

La Fig. 13 muestra el comportamiento típico de una prueba de conductimetría con el crudo Jobo. La floculación de los asfaltenos ocurre para un contenido de heptano equivalente a 74,70%. El comportamiento en esta prueba es muy similar al encontrado en el Boscán y Hamaca; un lige-

ro descenso en la conductancia antes de un súbito máximo en el punto de floculación.

Tabla 5. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Jobo.

Muestra N	% Heptano
1	76,10
2	76,10
3	74,65
4	73,97
5	74,13
6	74,70

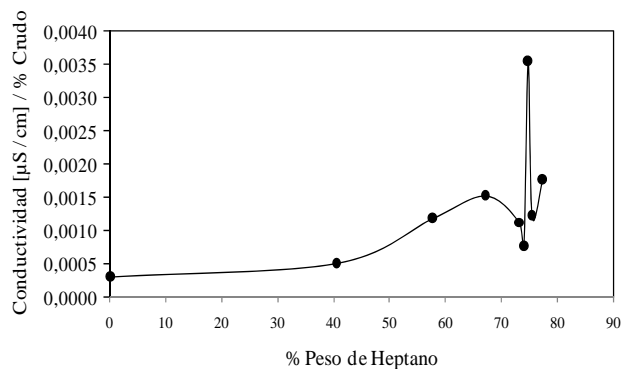


Fig. 13. Comportamiento de la conductividad para Jobo muestra N° 6, el cual flocula en el punto 6J.

3.6 Crudo Merrey

El punto de floculación de los asfaltenos del crudo Merrey, proveniente del Estado Monagas, presenta como valor promedio 73,79% de heptano agregado. En la Fig. 14, se muestra una foto de la evolución de la mancha a medida que aumenta la cantidad de heptano agregado al crudo Merrey. En la Tabla 6, se observa los diferentes porcentajes de heptano arrojados tras varias repeticiones.

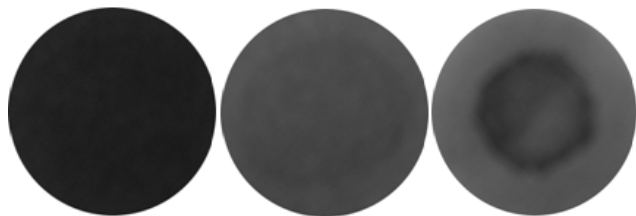


Fig. 14. Mancha para el crudo Hamaca solución inicial, para el punto de punto de floculación y al final de la precipitación.

Usando mediciones conductimétricas se determino que el punto de floculación de los asfaltenos esta alrededor de 73,71% de contenido de heptano. La Fig. 15 muestra el comportamiento típico en esta prueba para el crudo Merrey.

Tabla 6. Porcentajes de heptano indicativo del inicio de la floculación de los asfaltenos en el crudo Merrey.

Muestra N	% Heptano
1	74,63
2	75,25
3	75,48
4	71,32
5	74,58
6	74,84
8	71,16
9	73,05

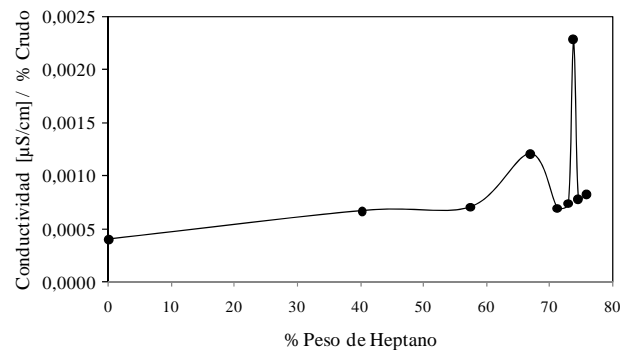


Fig. 15. Comportamiento de la conductividad para Merrey muestra N° 8, el cual flocula en el punto 6M.

3.7 Discusión Adicional

Los crudos estudiados son en su mayoría crudos pesados, lo que implica que tiene un alto contenido de asfaltenos en suspensión. Esto se ve reflejado al comparar la cantidad de heptano necesaria para precipitar los asfaltenos, mientras más liviano es el crudo, se necesita mayor contenido de heptano para producir este fenómeno.

La prueba de la mancha sobre papel es indiscutiblemente un método fiable para determinar el punto de floculación de los asfaltenos. La mancha o aureola de color más intenso representa los asfaltenos floculados por la acción del heptano; en el anillo alrededor de la mancha central, de un color mucho más claro, se distribuyen los solventes y livianos contenidos en el crudo.

En cuanto al comportamiento reológico de las diluciones, es necesario destacar el comportamiento de las diluciones del crudo Furrial. No se tiene reporte alguno de este fenómeno de incremento de la viscosidad en el punto de floculación. Este podría atribuirse a la formación de grandes cúmulos de agregados que interactúan entre sí, incrementando la viscosidad justo después que empieza la floculación. Esta hipótesis queda abierta para posteriores investigaciones.

Por otra parte, es preciso mencionar que no se pudo

determinar el punto de precipitación de todos los crudos estudiados a través de este método, ya que durante la realización de las primeras experiencias, el equipo disponible resulto averiado, por lo que no pudieron ser completados con los de más crudos.

Finalmente, es importante destacar la concordancia entre los tres métodos utilizados, para determinar el punto de precipitación de los asfaltenos, en los crudos estudiados.

4 Conclusiones y recomendaciones

Se determinó la cantidad de heptano que debe ser añadida a la mezcla de crudo diluido con tolueno en relación volumétrica 50:50, para obtener el punto de floculación de los asfaltenos en los crudos: Cerro Negro 77,16 %, Boscán 74,68%, Hamaca 75,42%, Jobo 74,36%, Merey 73,79%.

Se determinó el punto de floculación de los asfaltenos para el crudo Furrial, obteniendo 80,11 % de heptano añadido en la mezcla de crudo diluido con tolueno en relación volumétrica 30:70.

Se estableció el umbral de precipitación de los asfaltenos, mediante mediciones conductimétricas y reométricas, las cuales coinciden con las obtenidas en la prueba de la mancha.

5 Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al laboratorio FIRP, así como al laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada, ambos pertenecientes a la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Los Andes, por la significativa colaboración prestada durante la realización de este trabajo. Así mismo, al CDCHT-ULA por el financiamiento parcial del proyecto.

Referencias

- Alayon M, 2004, Asfaltenos-Ocurrencia y floculación. Cuaderno FIRP 369 PP.
- Branco V, Mansoori G y De Almeida L, 2001, Asphaltene flocculation and collapse from petroleum fluids. En: Journal Petroleum Science and Engineering 32, 217.
- Delgado J, 2006, Asfaltenos composición, agregación, precipitación. Cuaderno FIRP S369A.
- Fotland, Andindsen H y Fadnes F, 1993, Detection of asphaltene precipitated by measurement of electrical conductivity, Fluid Phase Equilibria, 82.
- Lababidi H; Garrouch A y Fahim M, 2004, A fuzzy heuristic approach for predicting asphaltene precipitation potential. En: Energy & Fuels 18, 242.
- Liao Z y Geng A, 2000, Asphaltenes in oil reservoir recovery. En: Science Bulletin. 45, 682.
- Priyanto S, Mansoori A y Suwono A, 2001, Chemical Engineering Science, 56.
- Zewen L y Ansong G, 2000, Asphaltenes in oil reservoir recovery. En: Chinese Science Bulletin. 8, 45.

Anexos

Anexo 1.. Gravedad API para los distintos crudos utilizados.

Crudo	Gravedad (°API)
Furrial	25,8
Cerro Negro	12,5
Boscan	8,7
Hamaca	9,1
Jobo	13,8
Merey	16,0