

CUADERNO FIRP S369-PP

MODULO DE ENSEÑANZA EN FENOMENOS INTERFACIALES

en español

PLAN PILOTO en ESPECIALIDADES QUIMICAS

ASFALTENOS

Ocurrencia y floculación

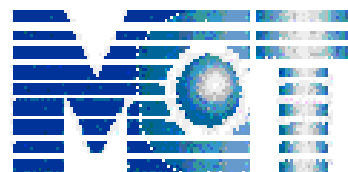
Mario ALAYON

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Lab. Formulacion, Interfaces, Reología y Procesos



MINISTERIO DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
PPGEA-FONACIT

Mérida-Venezuela (2004)

INDICE

1. El petróleo	3
1.1 Composición química	3
1.2 Clasificación del petróleo	6
1.3 Reservas y producción de petróleo en Venezuela	7
1.4 Producción primaria, secundaria y terciaria	7
1.5 Aplicaciones de los métodos convencionales de recobro	8
2. Deshidratación de crudos	9
2.1 ¿Dónde y cómo se producen las emulsiones agua en petróleo?.....	9
2.2 ¿Cuáles son los agentes emulsionantes?	10
2.3 ¿Cuáles son las propiedades involucradas en la estabilidad de la emulsión?.....	12
2.4 ¿Cómo prevenir la formación de emulsiones?	15
2.5 ¿Cuál es el mecanismo de ruptura de la emulsión?	16
3. Métodos de Tratamiento	20
3.1 Acción de la química deshidratante	20
3.2 Acción del campo eléctrico	22
4. Aspectos prácticos y tecnológicos	25
4.1 Aplicación del mapa de formulación	25
4.2 Pruebas de botella	26
4.3 Medición de estabilidad	28
4.4 Cinética de adsorción de surfactantes	29
4.5 Sinergismo entre surfactantes y aditivos químicos	30
5. Equipos usados en la deshidratación de crudos	31
5.1 Separadores gas-líquido	32
5.2 Separadores gravitacionales	32
5.3 Calentadores	34
5.4 Coalescedores electrostáticos	36
6. Desalación del petróleo	38
Bibliografía	41

1. ASFALTENOS

Los asfáltenos típicamente son definidos como la fracción de crudo insoluble en solventes alifáticos de bajo peso molecular, como n-pentano y n-heptano, pero solubles en tolueno. Ferworn definió el término asfálteno como aquellos sólidos depositados de un crudo debido a la adición de un exceso de n-pentano. Otra definición considera que los asfáltenos son moléculas planas, poli aromáticas y poli cíclicas que contienen heteroátomos y metales, que existen en un estado de agregación en suspensión y están rodeados y estabilizados por resinas (agentes peptizantes); no son puros, ni son moléculas idénticas, se sabe que tienen una carga eléctrica, y se piensa que están poli dispersos.

Las definiciones anteriores de asfáltenos son buenas para fines prácticos, pero no dan mayor información desde el punto de vista de su comportamiento fisicoquímico en relación a la precipitación de estos.

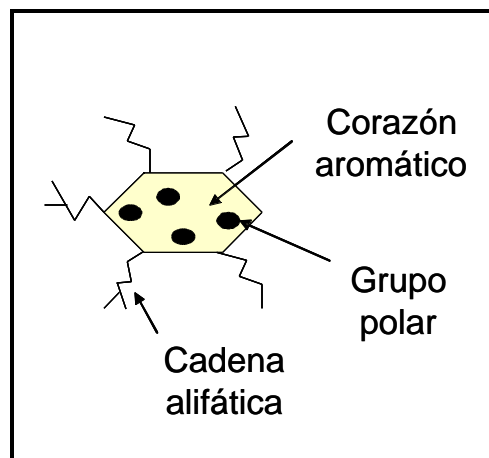


Figura 1. Representación esquemática de una molécula de asfálteno.

1.1 Resinas

Al hacer referencia de los asfáltenos se hace necesario considerar a las resinas, ya que el comportamiento de los asfáltenos depende mucho de la presencia de estas.

Las resinas comprenden aquella fracción que se solubiliza cuando el petróleo o bitumen se disuelve en un n-alcano, pero se adsorbe en un material activo superficialmente (como tierra de Fuller). Las resinas son oscuras, semisólidas, muy adhesivas, de peso molecular alto, y su composición depende del precipitante empleado.

Marck consideró que las resinas son un producto intermedio originado en la transformación del crudo en asfáltenos, proceso que ocurre tanto por oxidación aérea como por tratamiento directo con oxígeno y azufre.

Swanson y col. observaron que los asfaltenos requieren a las resinas para “disolverse” en la porción destilable del crudo. Mientras que Yen y col. hacen una mención mas especifica de la función de éstas considerando que las resinas proveen una transición entre las fracciones polares (asfaltenos) y las no polares del petróleo, por lo tanto previenen la acumulación de agregados polares que no pueden dispersarse en el crudo.

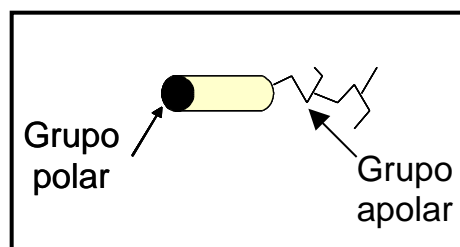


Figura 2. Representación esquemática de una molécula de resina.

1.2 Composición química de asfaltenos

Los asfaltenos son compuestos polidispersos en grupos funcionales, peso molecular y estructura. El contenido de compuestos aromáticos en los asfaltenos esta 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.

Hace poco tiempo, se consideraba que los asfaltenos eran macromoléculas de peso molecular de varias decenas de miles y que poseían una estructura formada por una matriz aromática muy condensada, rodeada por anillos nafténicos y cadenas alifáticas, con incorporación de grupos multifuncionales, tales como: alcoholes, aminas primarias y secundarias, ácidos, éteres, ester, cetonas y conjuntos mas complejos como las porfirinas.

Los últimos estudios, donde se presentan técnicas de análisis, tienden a presentar a los asfaltenos con un peso molecular mucho menor, entre 800 y 3000 y una matriz menos condensada, limitada a 4 ó 5 anillos bencénicos ligados por naftenos y prolongados por grupos alquil.

La espectrofotometría de infrarrojo, resonancia magnética nuclear y la difracción de rayos X, se han utilizado para determinar los detalles químicos de los heteroátomos, determinación de grupos funcionales, y tipos de carbono e hidrogeno en los asfaltenos.

Los heteroátomos mayormente encontrados en asfaltenos de diferentes crudos son azufre (S), nitrógeno (N) y oxígeno (O). El nitrógeno se encuentra mas 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 (tipicamente de 65-85%) con el resto en grupos sulfídicos. El nitrógeno se relaciona con los grupos

pirrólicos, piridinicos y quinólicos, siendo el grupo dominante el pirrólico. Los grupos relacionados con el oxígeno son hidroxílico, carbonilo, carboxílico, y éter.

En algunos crudos se han determinado átomos metálicos, principalmente níquel (N) y vanadio (V); como ejemplo tenemos el crudo Boscan venezolano, en el cual se han encontrado proporciones de 1200 ppm en Vanadio y 150 ppm en Níquel.

La estructura de las moléculas de asfaltenos muestra que son hidrocarburos con partes relativamente polares dadas por los anillos aromáticos y los grupos funcionales y partes apolares constituidas por las cadenas alifáticas; lo cual permite presentar una dualidad polar-apolar dándole propiedades interfaciales.

Elemento (% peso)	Rango	Valores típicos
Carbón	78-90	82-84
Hidrogeno	6.1-10.3	6.5-7.5
Nitrógeno	0.5-3	1.0-2.0
Azufre	1.9-10.8	2.0-6.0
Oxígeno	0.7-6.6	0.8-2.0
Vanadio (ppm)	0-1200	100-300
H/C	0.8-1.5	1.0-1.2

Tabla 1. Composición típica de elementos presentes en moléculas de asfalteno

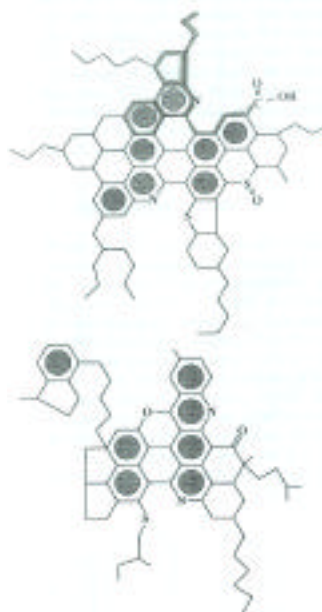


Figura 3. Estructura química de dos moléculas de asfaltenos de diferentes crudos.

1.3 Estado coloidal y micelar de los asfaltenos

Las primeras investigaciones para estudiar la estructura de las fracciones del crudo y asfaltenos, con la finalidad de intentar demostrar la naturaleza coloidal, fueron publicadas en la década de los 30's por Nellensteyn y, Pfeiffer y Saal. Tales publicaciones sugieren que los componentes asfálticos deberían ser vistos como una dispersión coloidal. De acuerdo a la teoría coloidal, las moléculas de asfalto están rodeadas por moléculas de resinas, que hacen transición de asfaltenos altamente polares a crudo relativamente no polar.

Debido a que los asfaltenos contienen una alta complejidad macromolecular, solo se conocen sus estructuras químicas promedios. Yen y col., desarrollaron con mucho éxito un modelo estructural, el cual explica muchas de las propiedades de los asfaltenos. En este modelo, los asfaltenos consisten en láminas planas de sistemas aromáticos condensados los cuales pueden ser interconectados por sulfuro, éter, o cadenas alifáticas. Un promedio de cinco de esas láminas son amontonadas por interacciones - . Los puentes de hidrogeno y las interacciones dipolo-dipolo causan la agregación de asfaltenos en micelas cuando la concentración de estos es suficientemente alta.

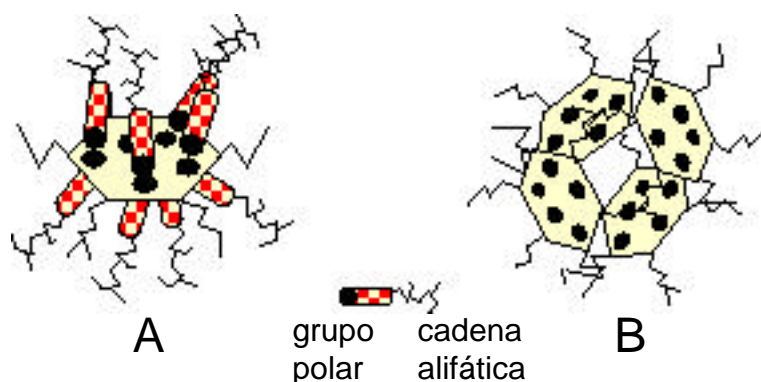


Figura 4. Representación esquemática de una molécula de asfalto en estado coloidal (A) y formación de micela de asfaltenos (B)

1.4 Modelos termodinámicos sobre la disposición de los asfaltenos en el crudo

El interés por el estudio del comportamiento y la forma como están presentes los asfaltenos en el crudo, han dado lugar al desarrollo de modelos termodinámicos que tratan de explicar esta fenomenología y que a la vez funcionan como herramientas predictivas de la precipitación de asfaltenos. Entre los principales modelos termodinámicos expuestos en las diversas publicaciones se pueden mencionar: el molecular (Liofílico) y el coloidal (Liofóbico).

- Modelo termodinámico molecular (Liofílico)

En este modelo se define la idea de Solubilidad, ya que se considera que los asfaltenos en solución se comportan como un componente más de una mezcla que obedece las leyes del equilibrio termodinámico multifásico.

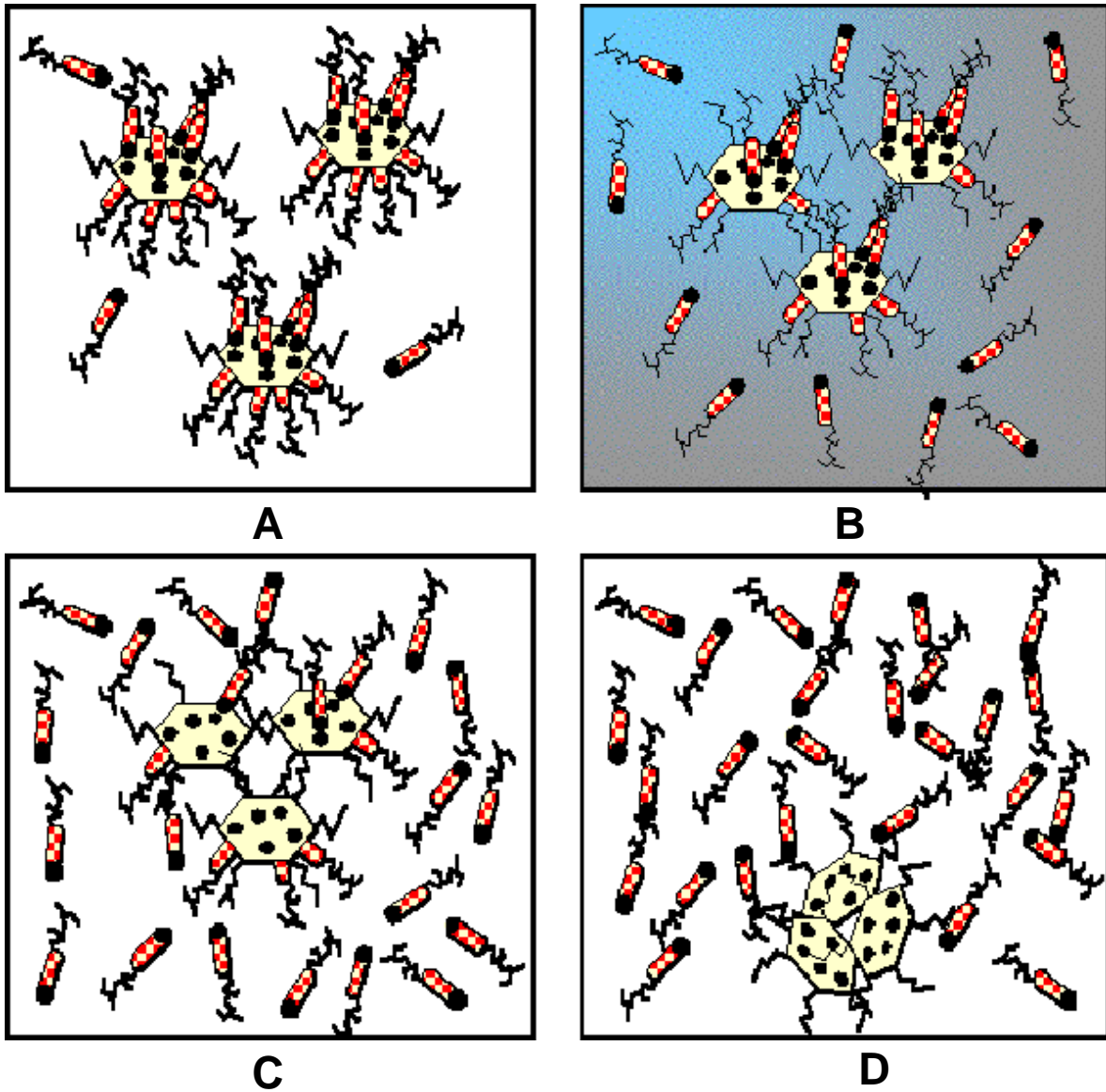


Figura 5. Agregación y precipitación de asfaltenos. (A) Asfaltenos en estado coloidal peptizados por las resinas. (B) Por modificaciones fisicoquímicas las resinas comienzan a abandonar al asfalteno. (C) Agregación de asfaltenos. (D) Precipitación de los asfaltenos.

Hirschberg y Burke, han modelado el fenómeno de la precipitación de los asfaltenos mediante el equilibrio termodinámico, líquido-líquido, de una mezcla de pseudo componentes: los asfaltenos y el resto de las fracciones que constituyen el crudo, que es llamado solvente. Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, el crudo se puede separar en dos fases líquidas, una de las cuales está constituida solamente por los asfaltenos, mientras que la otra está formada por ambos componentes, pero principalmente por el solvente

- Modelo termodinámico coloidal (Liofílico)

Salager J. L., señala que los asfaltenos no son realmente solubles, sino que están dispersos en el crudo. Se asocian de tres o cuatro moléculas para formar una micela o coloide. Es un proceso estable que sustrae la parte polar del medio apolar (micela inversa).

Yen y col., desarrollaron un modelo termodinámico coloidal para explicar el comportamiento de los asfaltenos; en este modelo las resinas son consideradas como agentes peptizantes, es decir, se adsorben rodeando a los agregados de asfaltenos, permitiendo un equilibrio molecular con el resto de los componentes del crudo.

En este modelo, los cambios en las condiciones de presión, temperatura, composición u otra variable relevante, hacen que las resinas que se encuentran adsorbidas a la superficie de los asfaltenos, se transfieran a las fases líquida, por lo que los asfaltenos al quedar desprotegidos pueden agregarse y eventualmente flocular. En la figura 4, se representa el proceso de floculación según este modelo.

2 Precipitación de asfaltenos

La precipitación de asfalteno se refiere al fenómeno mediante el cual un crudo, bajo ciertas condiciones de presión, temperatura, composición y régimen de flujo, se separa en una o dos fases fluidas de grandes proporciones (gas y/o líquido) y en una fase insoluble, de menor tamaño, constituida principalmente por los asfaltenos.

Para un crudo en particular, la cantidad de material precipitado generalmente es mayor a medida que disminuye el número de carbonos del agente precipitante. Por ejemplo, la cantidad de precipitado usando n-pentano puede ser dos y hasta tres veces mayor que la cantidad precipitada cuando se utiliza n-heptano, tal como se ilustra en la figura 6.

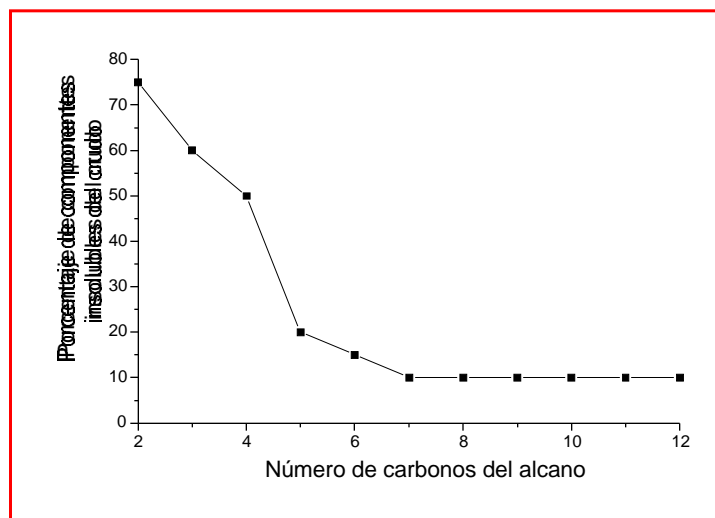


Figura 6. Efecto del número de carbonos del agente precipitante sobre la cantidad de componentes insolubles

En esta figura se observa que a partir del n-heptano la cantidad precipitada permanece prácticamente constante, por lo que se puede señalar que sólo los componentes más polares y, por lo tanto, más insolubles, precipitan con n-heptano.

A pesar que la precipitación de asfaltenos es un problema muy conocido y estudiado dentro de la industria petrolera, sus principales causas, y en particular, su mecanismo no han podido ser totalmente comprendidos hasta el momento.

Con base en la numerosa información experimental se ha propuesto que el fenómeno de precipitación de asfaltenos puede ser descrito como un proceso en varias etapas que van desde la asociación de asfaltenos para formar pequeños agregados o pseudo-micelas, pasando por el crecimiento de éstos para conducir a agregados más grandes, los cuales, en condiciones favorables, crecen lo suficiente como para precipitar, la figura 5 representa las etapas de la precipitación de asfaltenos.

2.1 Problemas asociados a la precipitación de asfaltenos

El fenómeno de precipitación de asfaltenos se manifiesta en mayor o menor grado en prácticamente todas las facetas asociadas a la producción, transporte y procesamiento de petróleo y, en algunos casos, puede constituirse en un verdadero problema, ya que puede ocasionar daños a la formación y taponamiento en sitio, de pozos y equipos, y accesorios de superficie, bloqueo de líneas de transporte, y taponamiento de columnas de separación y desactivación de catalizadores.

2.2 Crudos venezolanos con problemas de precipitación de asfaltenos

En Venezuela, se han encontrado problemas de precipitación de asfaltenos tanto en la Cuenca de Maracaibo como en la Cuenca Oriental. En la primera, se ha observado la precipitación de asfaltenos en yacimientos del Eoceno y del Cretáceo de los campos de a Costa Bolívar, en yacimientos de Cretáceo en el área de Urdaneta y Centro Lago, y en el área nueva de Ceuta.

En la Cuenca Oriental se han presentado problemas de este tipo en los campos de Mata y Acema, en los Nardo, Nigua, Oscurote, Yopales y Oritupano; y, más recientemente, en los yacimientos de El Furrial, Musipán y Carito en el Norte de Monagas. En estos últimos casos, la precipitación de asfaltenos ha tenido una magnitud apreciable en las estaciones de separación y en los sistemas de transporte y compresión de gas de la zona. Adicionalmente, en el Norte de Monagas también han ocurrido problemas de taponamiento de pozos por depósitos de asfalteno, tanto a nivel de la cara de la formación como de la tubería de producción.

2.3 Factores que promueven la precipitación de asfaltenos

Existen evidencias firmes de que los cambios de dispersabilidad de los asfaltenos en el crudo, y los cuales promueven su precipitación, se deben a alteraciones del balance termodinámico que mantiene a los coloides de aquellos en solución.

Los principales parámetros que controlan la dispersabilidad de los asfaltenos son la presión, temperatura y la composición del crudo. Por lo que cualquier acción de naturaleza química, eléctrica o mecánica, en el proceso de producción, que altere dichos parámetros, tiende a comprometer la dispersabilidad, ocasionando la floculación y precipitación de los asfaltenos en el crudo. De esta manera, este fenómeno puede originarse debido a los siguientes factores:

i. Factores Termodinámicos

La dispersabilidad molecular está particularmente influenciada por cambios graduales en las variables operacionales más importantes dentro del proceso de producción: la presión y la temperatura, los cuales son generalmente causados por la interacción del crudo con obstrucciones, tales como: válvulas de subsuelo, conexiones entre tuberías, y reductores, etc., que controlan la velocidad del flujo y, en consecuencia, la ocurrencia o no del fenómeno de precipitación.

- Efecto de la Temperatura

Cuando la temperatura del crudo disminuye el poder de solubilización de los componentes del petróleo, sin considerar a los asfaltenos, también disminuye. Entonces algunas micelas resina-asfalteno se desestabilizan y se agregan entre ellas formando grandes cúmulos.

- Efecto de la Presión

Bajo condiciones isotérmicas, la disminución de la presión del crudo se asocia con la disminución de la densidad del fluido y, correspondientemente con la disminución de la solubilidad. La separación promedio entre moléculas de la fase líquida y las micelas de resina-asfalteno es mayor en densidades bajas, resultando interacciones menos atractivas. Por tal motivo al disminuir la presión y por consiguiente la densidad, algunas micelas de resina-asfalteno se agregan formando grandes cúmulos que pueden llegar a precipitar.

ii. Factores Químicos

Desde el punto de vista químico, existen diferentes vías a través de los cuales se puede provocar cambios en la composición del crudo, y por consiguiente, la floculación de los asfaltenos. Estas se encuentran asociadas a los casos de contacto íntimo del crudo con sustancias no involucradas en el proceso natural de producción. Estos factores exógenos que más influencia tienen en la estabilidad de los asfaltenos son:

- Inyección de gas natural y mezcla con diluentes tales como condensados y livianos.
- Inyección de CO₂ y el uso de gases ricos en procesos de levantamiento artificial.
- Tratamientos de estimulación con ácidos, solventes, surfactantes y álcalis.
- Mezcla de crudos de diferentes origen

iii. Factores Eléctricos

Distintas investigaciones han estudiado el fenómeno de precipitación de asfaltenos a nivel de medio poroso, y determinaron que la causa principal era la desestabilización de los asfaltenos por la presencia de un campo eléctrico que se generaba debido al flujo de los fluidos dentro del medio poroso.

Asimismo, demostraron que los asfaltenos poseen una carga eléctrica intrínseca. Esta carga ha sido considerada, parcialmente, como responsable de la estabilidad de la micela asfalteno-resinas, según el modelo coloidal. De esta manera las micelas se mantienen estabilizadas, entre otras cosas, debido a la repulsión entre cargas del mismo signo ubicadas sobre los núcleos de las micelas.

La generación de un potencial de corriente producido por el flujo de fluidos a través del medio poroso o la aplicación de un potencial externo suficientemente grande, puede neutralizar las cargas eléctricas y perturbar el balance de fuerzas entre las micelas causando la floculación.

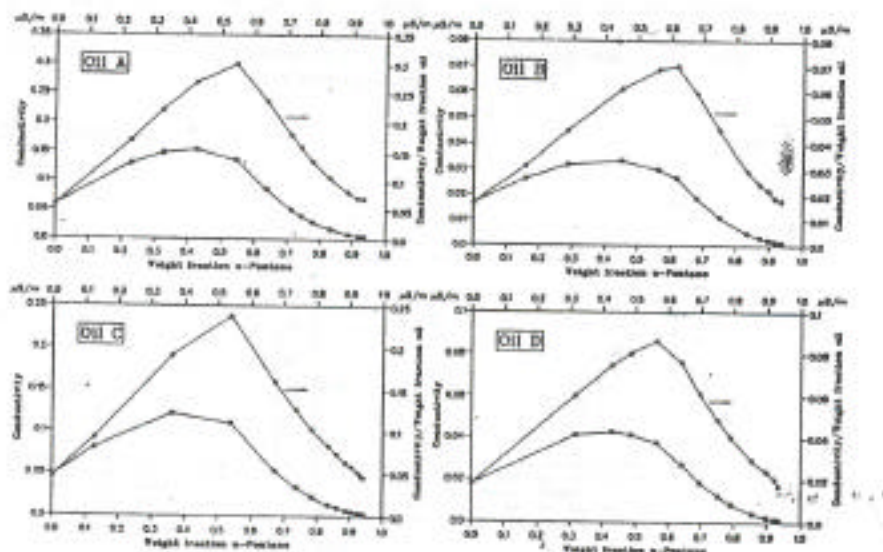


Figura 7. Cambios de conductividad de diferentes crudos con adición de n-heptano (Fluid Phase Equilibria, 82 (1993) 157-164. Per Ftand et al.)

iv. Factores Mecánicos

Entre estos factores se encuentran los efectos de cizalla por equipos de bombeo de subsuelo, fuerzas de fricción, fuerzas de impacto entre partículas, etc.

v. Otros factores

Hay evidencias de que cualquier sólido suspendido en el crudo (finos de arcillas o minerales, limaduras de metales, sedimentos y grava) a menudo favorecen los procesos de precipitación de los asfaltenos. Esas pequeñas partículas, suspendidas en el crudo, pueden servir de núcleos o “sitios de nucleación” que promueven la adhesión de los coloides 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 más marcado a nivel de las tuberías donde las rugosidades internas también representan “sitios de nucleación” para estos compuestos.

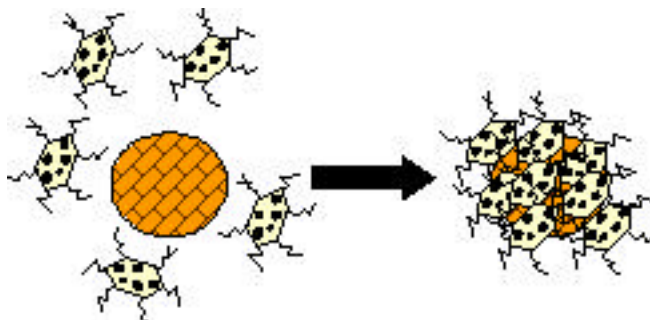


Figura 8. Esquema del mecanismo de nucleación de asfaltenos en presencia de partículas sólidas

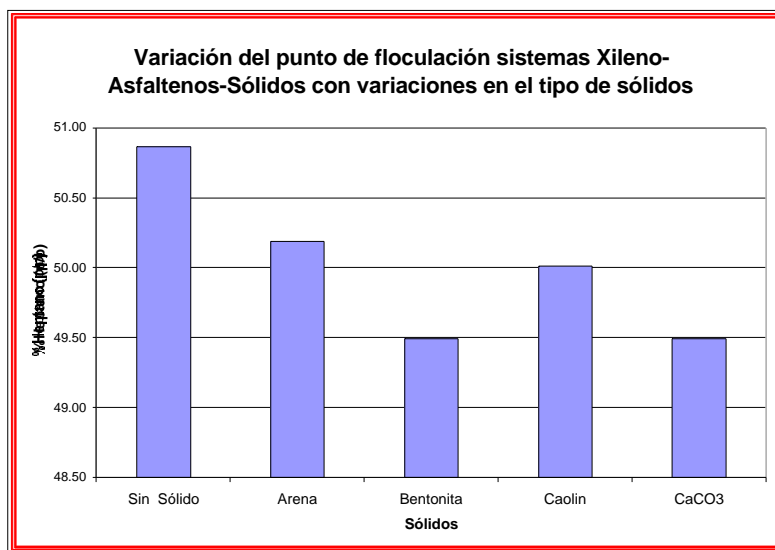


Figura 9. Variación del punto de floculación de asfaltenos en un crudo con la presencia de diferentes tipos de sólidos

3 Dispersantes de asfaltenos

Debido a los enormes problemas asociados a la precipitación de asfaltenos en la industria petrolera, se han desarrollados productos que inhiben la floculación y precipitación de asfaltenos.

Un dispersante de asfaltenos es una solución de uno o más surfactantes (aniónicos y/o noiónicos) disueltos en un solvente hidrocarbonado de carácter aromático. Su función principal es mantener estabilizados a los coloides de asfaltenos, evitando la floculación y posterior precipitación. Y en el caso de que los asfaltenos ya estén precipitados, promover su redisolución, a través de mecanismos fisicoquímicos propios de agentes dispersantes.

Actualmente existen dispersantes de asfaltenos comerciales, que son clasificados según el surfactante que contengan, como son los aniónicos, noiónicos y poliméricos. Entre estos se pueden mencionar: ácidos sulfónicos de alquilbenceno, alquilfenoles etoxilados, ésteres alifáticos de ácido fosfórico, copolímeros de óxido de etileno y propileno, resinas alquifenolformaldehído, copolímeros vinílicos hidrofílicos-lipofílicos, alquilsuccinatos y derivados de ácido cresílico.

En cuanto a la eficiencia de estos compuestos, González y Middea estudiaron la efectividad de ciertos anfífilos oleosolubles para asfaltenos en heptano, encontrando que:

- El nonilfenol, es un buen agente peptizante, previene la precipitación de asfaltenos por heptano y reduce su adsorción en cuarzo.
- Los nonilfenol etoxilados con un alto número de unidades de óxido de etileno, también previenen el proceso de adsorción. Moléculas con bajo o medio EON son menos eficientes para este propósito.
- Las aminas alifáticas primarias también presentan cierta habilidad para dispersar los asfaltenos, pero los alcoholes de cadena alifática larga y los alquilbencenos son algo ineficientes.

3 Uso de resinas como inhibidores de la precipitación de asfaltenos

El papel de las resinas en la solvatación de asfaltenos (Peptización) ha sido considerado por mucho tiempo. El mecanismo consiste en la solvatación del asfalteno mediante la resina mejorando su solubilidad por la interacción con los grupos aromáticos y polares, y de esta manera inhibiendo la precipitación de los mismos.

Con respecto a la cantidad de resina necesaria para inhibir la floculación de asfaltenos, se han desarrollado varias investigaciones en las cuales se determina una relación resina asfalteno óptima, permitiendo de esta forma para cada crudo en particular cuantificar la cantidad de resina a utilizar para inhibir la floculación.

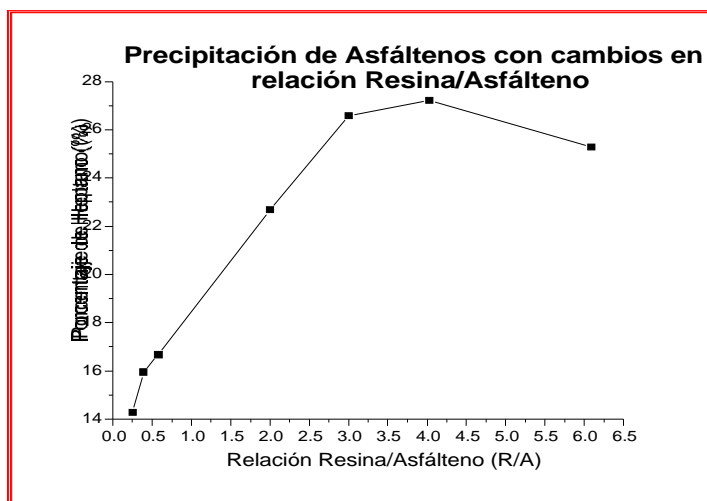


Figura 10. Variación del punto de floculación de asfaltenos con la relación Resina/Asfalteno

La idea que las resinas en el crudo actúan como agentes estabilizantes de asfaltenos ha sido reportado en muchos artículos. El concepto que, en algunos casos, las resinas pueden ser obtenidas de uno o varios crudos y luego ser usadas para estabilizar asfaltenos de otros crudos, no es universalmente aceptado.

Estudios realizados recientemente en el Laboratorio FIRP (Dávila A., Rodríguez M. y Alayón M.) han demostrado que la adición de resinas de crudos exógenos a otros crudos, pueden tanto retardar como acelerar el proceso de precipitación de los asfaltenos, estos resultados permiten aseverar que la compatibilidad entre las resinas y asfaltenos es factor primordial en el proceso de precipitación de estos.

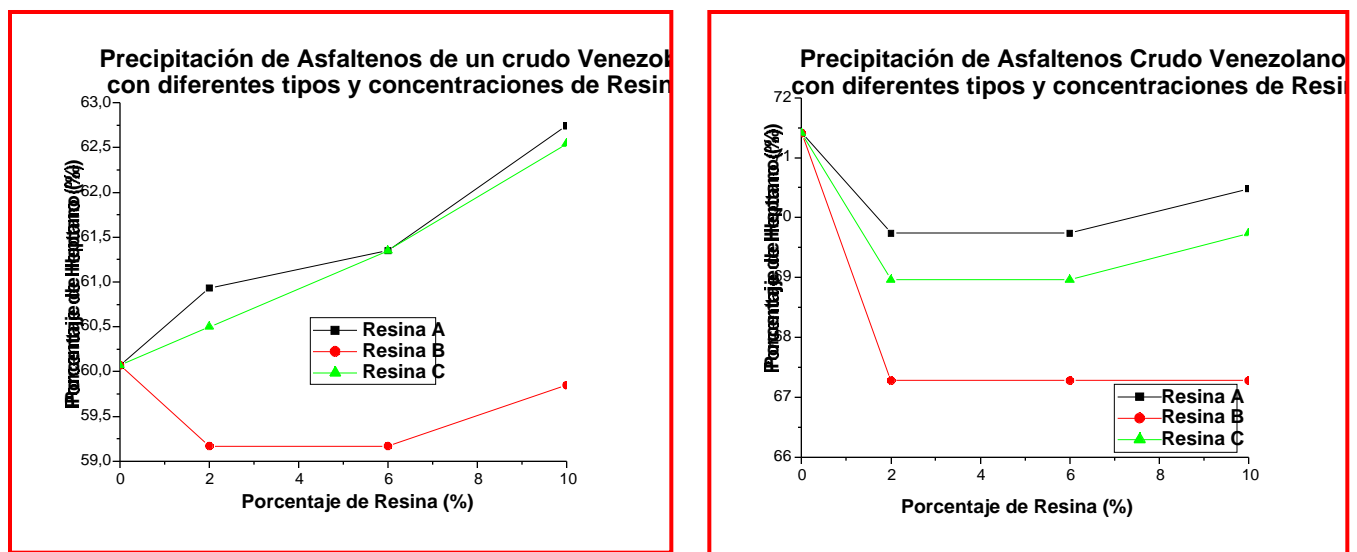


Figura 11. Variación del punto de floculación de asfaltenos con diferentes tipos y concentración de resinas.

4 Determinación cualitativa de la floculación de asfaltenos mediante el método de la mancha

El método de la mancha consiste en cuantificar la cantidad de alcano necesario para provocar la floculación de los asfaltenos de un crudo diluido previamente con xileno, y en algunos aditivos, ya sea las resinas, los asfaltenos o aromáticos; considerando a la mezcla formada por crudo y aditivo como un crudo para fines del cálculo. El error de este método es inferior al 1%. El porcentaje de alcano obtenido indica, con relación al punto de control (Punto de floculación del crudo puro), si existen diferencias debería atribuirse a la acción de los aditivos.

Se denomina aquí floculación a la aglomeración de los coloides en agregados que tienen un tamaño mucho mayor que el de los coloides individuales.

Se supone que los asfaltenos que son de un mismo tipo tendrán las mismas características en cuanto a su composición, estructura y propiedades fisicoquímicas y, por consiguiente, debido

a la interacción de los coloides para formar agregados y su capacidad para disgregarse, siempre presentaran el mismo punto de floculación.

El punto de floculación depende de la temperatura, de la presión y de la naturaleza de los asfaltenos. También depende de la estabilidad de la micela. Cuanto más apolar es el medio (por ejemplo, con mayor contenido de alifáticos) la resistencia a sustraerse del medio apolar es más fuerte y el grado de asociación aumenta a tal punto que puede tornarse infinito. Esto provoca la formación de floculados y la precipitación.

El principio del método de la mancha consiste en la observación de las manchas hechas por una gota de la mezcla depositada sobre un papel de filtro. Al caer, el líquido difusa a través del papel para formar una mancha redonda. Si los asfaltenos están bien dispersados, después de secarse, la mancha es de color uniforme. Si los asfaltenos han floculado, los agregados difusan menos rápidamente en el papel y, la mancha exhibe una aureola central más o menos nítida según los casos. En la figura 12, se representa la forma de la mancha, cuando los asfaltenos se encuentran dispersados y floculados.

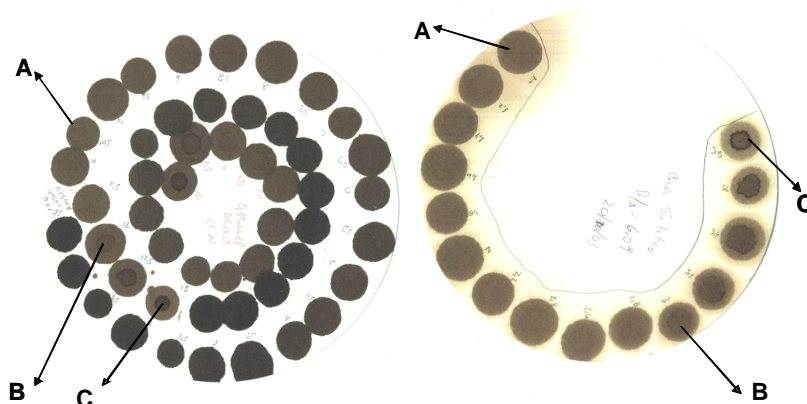


Figura 12. Metodo de la mancha para determinación de punto de floculación de asfaltenos, (A) Asfaltenos dispersos, (B) Asaftletnos comenzando a flocular y (C) Asfaltenos floculados

Si se continua diluyendo con alcano, después de la floculación, se puede observar que la aureola presenta una evolución desde una huella apenas discernible hasta un círculo negro de pequeño diámetro, es decir, la precipitación no es instantánea, ya que ocurre en un rango de 1 a 2% del alcano, siendo este un resultado que representa mucha precisión. En la figura 12, se visualiza la evolución completa de la precipitación de los asfaltenos en una muestra de crudo.

BIBLIOGRAFIA

- PORTE, G., ZHOU, H., and LAZZERI, V., *Langmuir* 19, 40-47 (2003)
- DÁVILA, A., “Floculación de los asfaltenos”, Tesis de pregrado Laboratorio FIRP (1997)
- SULLIVAN, A. and KILPATRICK, P., *Ind. Eng. Chem. Res.* 41, 3389-3404 (2002)
- RODRÍGUEZ, M., “Inhibición de la precipitación de asfaltenos con resinas”, Tesis de pregrado Laboratorio FIRP (2001)
- KALLEVIK, H., KVALHEIM, O., and SJOBLOM, J., *Journal of Colloid and Interface Science* 225, 494-504 (2000)
- BAUGET, F., LANGEVIN, D., and LENORMAND, R., *Journal of Colloid and Interface Science* 239, 501-508 (2001)
- GAFONOVA, O., and YARRANTON, H., *Journal of Colloid and Interface Science* 241, 469-478 (2001)
- YANG et al., “Film properties of Asphaltenes and Resins”, Cap. 23, *Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology*, Marcel Dekker, Inc, New York (2001)
- KILPATRICK, P., and SPIECKER, M., “Asphaltene Emulsions”, Cap. 30, *Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology*, Marcel Dekker, Inc, New York (2001)
- KARACAN et al., “Alcali treatment to asphaltic crude oil and its effect on thermal properties of asphaltic fractions”, *Proceedings of the Second International Symposium on Colloid Chemistry in oil production (ISCOP 97)*, Rio de Janeiro Brazil.
- ACEVEDO, S. et al, *Fuel* 1995 Volume 74 Number 4, 595-598.
- SALAGER, J. et al, *Energy & Fuels* 1999,13, 309-314.

Título: Asfaltenos - Ocurrencia y floculación
Autor: Mario Alayon
Referencia: Cuaderno FIRP N° 369PP
Fecha (marzo 2004)
Editado y publicado por: Laboratorio FIRP Escuela de INGENIERIA QUIMICA, UNIVERSIDAD de Los ANDES Mérida 5101 VENEZUELA

Derechos reservados

Condiciones de Reproducción

Los cuadernos FIRP están destinados a docentes y estudiantes. Pueden descargarse y reproducirse solo para uso individual.

Su venta o su reproducción como material de apoyo de cursos con pago de matrícula requiere una autorización escrita del editor (firp@ula.ve)

Laboratorio FIRP, telef: (0274) 2402954 Fax: (0274) 2402947

e-mail : firp@ula.ve

Escuela de INGENIERIA QUIMICA,
UNIVERSIDAD de Los ANDES Mérida 5101 VENEZUELA

<http://www.firp.ula.ve>