

Factores que influyen en la estabilidad de emulsiones de petróleo crudo y aceite de transmisión con soluciones de tensoactivo

Erich Martínez Martín

correo electrónico: erich@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Artículo Original

Margarita Piedra Díaz

correo electrónico: mpiedra@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Leonardo Acosta Martínez

correo electrónico: lacosta@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Ronny Rives Sanz

correo electrónico: rsanz@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Resumen

Entre las tecnologías utilizadas para el transporte de petróleo crudo por sistemas de tuberías, se encuentran las emulsiones del mismo con soluciones de tensoactivos. La aplicación de esta técnica requiere que las emulsiones se mantengan estables durante el período de bombeo y se separen completamente después de transportado el crudo. En el presente trabajo se realizaron ensayos experimentales, utilizando diferentes concentraciones de tensoactivo, tipos de mezclado y condiciones de decantación. Fueron empleadas dos sustancias como fase continua: aceite de transmisión y petróleo crudo cubano. Se observó la marcada influencia de la concentración y el tipo de mezclado en la estabilidad de las emulsiones. Los resultados demuestran las semejanzas en cuanto a parámetros termohidráulicos de los fluidos objeto de estudio; lo que permite inferir el comportamiento aproximado del petróleo crudo cubano emulsionado a partir del trabajo experimental con aceite de trasmisión. suelos parcialmente saturados.

Palabras claves: emulsión, estabilidad, soluciones de tensoactivo

Recibido: 9 de octubre del 2015 Aprobado: 27 de enero del 2016

INTRODUCCIÓN

En numerosas aplicaciones domésticas e industriales están presentes sistemas que contienen dos fases líquidas inmiscibles, como el petróleo y el agua en la industria energética. La mezcla que resulta de estas sustancias se denomina emulsión. Las emulsiones por lo general son sistemas inestables, cuya estructura es estabilizada por un agente llamado emulsionante o tensoactivo [1,2].

En los últimos años se han venido realizando estudios sobre el comportamiento reológico de las emulsiones y los factores que intervienen en su formación.

Díaz y Falcón, han realizado un estudio de las emulsiones de crudo cubano y sus características, obteniendo experimentalmente las curvas de flujo en viscosímetros rotacionales para el crudo cubano. Se han analizado variables como el pH y la temperatura pero no se han realizado estudios de estabilidad [3].

Asimismo, Rodríguez y Falcón, profundizaron en el efecto de la relación petróleo agua emulgente en el comportamiento reológico y en la estabilidad de las emulsiones acuosas directas del petróleo crudo cubano

utilizando el tensoactivo p. En este trabajo no se analizan algunos factores como el tipo de mezclado [4].

Por su parte, Rodríguez y Falcón, profundizaron en el comportamiento de emulsiones del tipo O/W con emulsionante EM-10 producto de pirólisis a partir de variables como: esfuerzos cortantes, gradientes de velocidad y viscosidad aparente. Este trabajo se limita al estudio de emulsiones del tipo O/W, no se trabaja con emulsiones del tipo W/O, las cuales pudieran ser más eficientes para las aplicaciones petroleras [5].

El presente trabajo está encaminado a la determinación de los principales factores que intervienen en la estabilidad de emulsiones del tipo W/O (agua en aceite), utilizando como agente emulsionante el surfactante catiónico Zetap B.

La concentración del agente emulsionante es variable, pero en la práctica existen dos límites. Debajo de una concentración mínima del orden de 0,1%, no hay suficiente emulsionante para estabilizar la emulsión. Más allá de algunos porcentajes (5% por ejemplo), no tiene sentido aumentar la concentración del tensoactivo. En las aplicaciones vinculadas a la industria petrolera se encuentra una concentración de emulsionante en el rango 0,2 - 3% [1].

En una emulsión, uno de los líquidos inmiscibles es la fase acuosa y el otro, una fase aceite u orgánica. Se usarán las abreviaturas W (agua) y O (aceite) para dichas fases. Si la emulsión contiene gotas de aceite (O) dispersadas en agua (W), se le llamará emulsión O/W. En las aplicaciones petroleras la fase continua es el aceite (O) y la fase dispersa es el agua (W), formando una emulsión del tipo W/O (figura 1) [2].

Para la elaboración de una emulsión se emplean diferentes técnicas y equipos, los más comúnmente utilizados son los mezcladores de hélice o turbina. Un mezclador tiene esencialmente dos funciones: primero promover cerca del impulsor un rápido movimiento del fluido de tal forma que el mismo esté sometido a un campo de cizallamiento intenso; por otra parte, el impulsor debe provocar dentro del tanque un movimiento de circulación convectiva global, de tal forma que todo el fluido pase a través de una zona de cizallamiento [2].

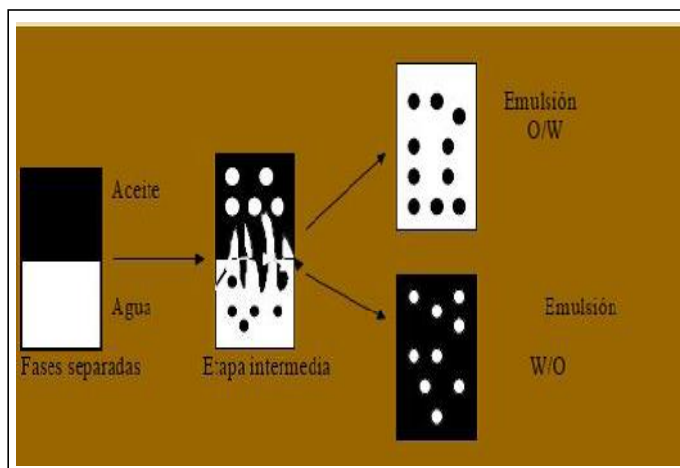


Fig. 1. Tipos de emulsiones.

Una emulsión se comporta generalmente como un sistema termodinámicamente inestable. Resulta fácil afirmar que una emulsión se ha roto, pero definir experimentalmente una magnitud que caracterice su estabilidad es complejo.

Una medida de la estabilidad de una emulsión es la variación del número de gotas en función del tiempo. Tal información se obtiene mediante la variación de la distribución del tamaño de gota con el tiempo. En la práctica, la estabilidad de una emulsión se relaciona, en general, con el volumen de las fases separadas. Después de algún tiempo, el sistema se separa típicamente en tres zonas (figura 2), una zona central que contiene una nata o emulsión de alto contenido de fase interna y dos fases separadas, la interna (coalescida) y la externa (clarificada) [1].

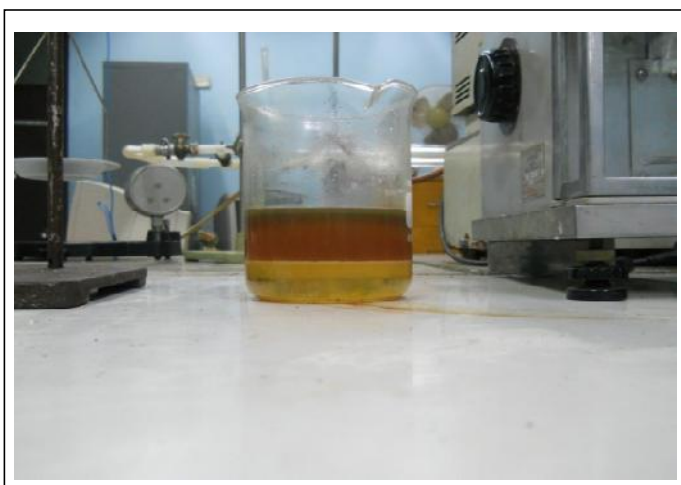


Fig. 2. Emulsión en proceso de separación.

Los tensoactivos son sustancias que poseen a la vez un grupo polar y un grupo apolar (figura 3). Pertenecen a la clase de las sustancias anfífilas. Un anfífilo es una sustancia química cuya molécula posee una afinidad a la vez por las sustancias polares y por las sustancias apolares [6].

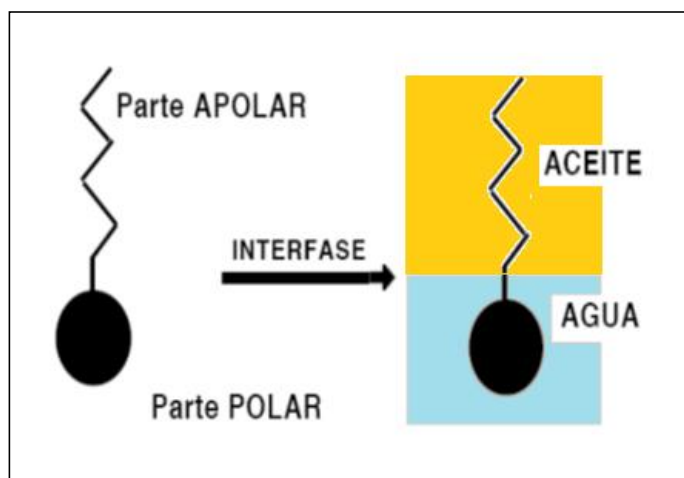


Fig. 3. Ubicación de la molécula de surfactante en la interfase.

La gran mayoría de los anfífilos son surfactantes porque se ubican preferencialmente en una superficie o una interfase. La figura 3 muestra que la unión a la superficie o a la interfase es la única forma que tiene un surfactante para satisfacer su doble afinidad grupo hidrofílico-agua y grupo apolar-aceite. La presencia de surfactante es lo que permite controlar los diferentes fenómenos involucrados en la etapa de drenaje/floculación, cuya escala de tiempo puede variar de una fracción de segundo a varios años y hasta más en sistemas perfectamente estables [6].

La adsorción de surfactante en la interfase, particularmente los de alto peso molecular, puede resultar en un efecto de repulsión estérico. Este efecto depende del tamaño del grupo que produce la interacción, y de la densidad de adsorción interfacial. La estabilidad de la emulsión dependerá del efecto del surfactante sobre las repulsiones electrostática y estérica.

El comportamiento del surfactante en la interfase agua/aceite es por tanto el factor dominante en la estabilización de emulsiones, aunque otras variables pueden influir en los fenómenos dinámicos, tales como la presencia de electrolitos [2].

En el presente trabajo se determinarán los principales factores que influyen en la estabilidad de emulsiones del tipo W/O. Para ello serán utilizados las sustancias y los métodos descritos a continuación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental fue desarrollado en el laboratorio de Mecánica de los Fluidos del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC). En los ensayos experimentales se han utilizado como fluidos de trabajo: petróleo crudo del yacimiento Boca de Jaruco ubicado al este de La Habana con densidad relativa 0,99 y viscosidad 3,2 Pa.s a 30 °C; aceite de transmisión con densidad relativa 0,86 y viscosidad 0,7 Pa.s a 30 °C; agua y soluciones con concentraciones al 0,2 %; 0,5%; 1 % y 2 % de tensoactivo. Se han seleccionado estas sustancias con el objetivo de elaborar emulsiones en un rango que permita realizar comparaciones en cuanto a estabilidad y comportamiento termohidráulico de las sustancias utilizadas como fase continua (aceite de transmisión y petróleo crudo cubano). En tal sentido, será posible establecer semejanzas entre ambos fluidos, lo que permitirá predecir el comportamiento aproximado de uno a partir del otro cuando se someten a procesos termofísicos similares.

El agente tensoactivo empleado en la preparación de emulsiones acuosas del petróleo crudo fue el surfactante catiónico Zetab B.

Se elaboraron emulsiones a escala de laboratorio utilizando un agitador de hélice (figura 4), con propela de diámetro 5,0 cm y motor de hasta 1 000 rpm [3].

El recipiente utilizado durante la agitación (figura 4) tiene un volumen máximo de 1L, superior al volumen de emulsión elaborado (300 mL) con el objetivo de no derramar la muestra.



Fig. 4. Agitador de hélice.

En todos los casos se prepararon emulsiones del tipo W/O (agua en aceite) al 30 % de fase dispersa [4], dando seguimiento a su comportamiento, en cuanto a estabilidad, durante períodos lo suficientemente prolongados para que se produjera la total separación de las fases. La velocidad de agitación utilizada fue de 300 rpm.

Durante la elaboración de las emulsiones se tomaron en cuenta diferentes aspectos como la formación de espuma cuando se agita la mezcla durante un período de tiempo prolongado. Este fenómeno aunque influye positivamente en la estabilidad de las emulsiones (las hace más estables), no resulta conveniente para la industria petrolera debido a que en aplicaciones como el trasiego del crudo por oleoductos aumenta las probabilidades de ocurrencia de cavitación e implosión en los equipos de bombeo.

La formación de espuma tiene lugar debido a las interacciones termodinámicas entre las fases líquidas y la gaseosa en sistemas abiertos. En la figura 5, se muestra una microimagen de la emulsión de aceite al 30 % de solución de tensoactivo con concentración al 1 %. En la misma se pueden observar gotas de aire que manifiestan la presencia de espuma en la emulsión.

En la tabla 1 se muestran las variables utilizadas en el trabajo experimental [7].

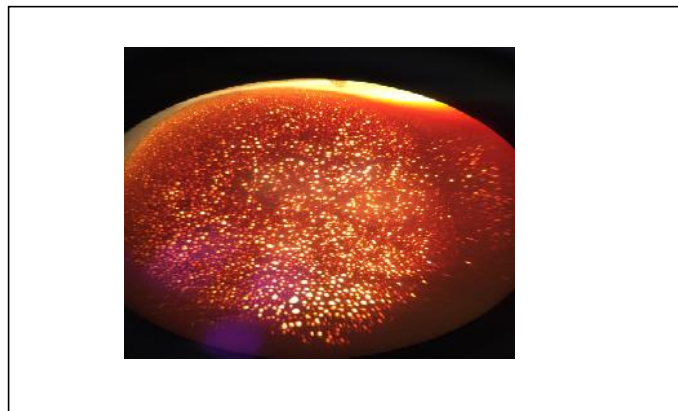


Fig. 5. Emulsión al 30 % de solución de tensoactivo.

Tabla 1 Variables utilizadas		
Variable	U/M	Descripción
Tiempo de agitación	s	Período durante el cual se someten los fluidos a los esfuerzos cortantes del agitador
Tiempo de separación	min	Tiempo después del cual se produce la separación evidente de las fases
Concentración de tensoactivo	%	Cantidad de tensoactivo presente en la solución
Fracción de las fases	%	Porción de la mezcla que corresponde a cada una de las fases
Velocidad de agitación	rpm	Velocidad angular con que gira la propela del agitador durante el mezclado
Velocidad de separación de las fases	mL/s	Volumen de fase separada por unidad de tiempo

RESULTADOS

En este apartado se explican algunas orientaciones sobre el contenido de Resultados y las instrucciones para la presentación de las tablas y figuras en el texto.

Los ensayos experimentales desarrollados tuvieron como objetivo describir y caracterizar los procesos de formación y ruptura de las emulsiones. Para ello fueron utilizadas como fase dispersa, en primer lugar, aceite de transmisión y en segundo lugar, petróleo crudo cubano.

Emulsiones con aceite de transmisión

Una vez elaboradas las emulsiones se monitoreó el proceso de separación de las fases (ruptura de la emulsión), este resultado permitió determinar cuán estable se comportaba la mezcla.

Como primer experimento fueron elaboradas emulsiones al 30 % de solución de tensoactivo con concentraciones al 0,5 %, 1 % y 2 % de soluto. Se determinó el tiempo de permanencia de la fase dispersa (solución de tensoactivo) en la emulsión. Este resultado permite apreciar la relación que existe entre la concentración de tensoactivo y la estabilidad de la emulsión.

En la figura 6 se presentan las velocidades de separación del agua para cada solución de surfactante, excepto para la solución al 5 %, pues esta tiene una velocidad de separación excesivamente grande, resultando una línea vertical en los 3 ml de agua tomados como muestra.

Como segundo experimento se comprobó la influencia del tipo de mezclado en la estabilidad de la emulsión. Para ello se prepararon dos emulsiones al 1% de concentración de soluto y se mezclaron durante tiempos diferentes (1 y 3 min.) La figura 7, describe el comportamiento de ambas emulsiones

Por último se analizó el comportamiento de una emulsión al 0,5 % de concentración de tensoactivo y mezclado rápido, respecto a una al 1 % de concentración de tensoactivo y mezclado lento.

Otro aspecto analizado fue el comportamiento de las sustancias después de la ruptura de la mezcla (figura 9).

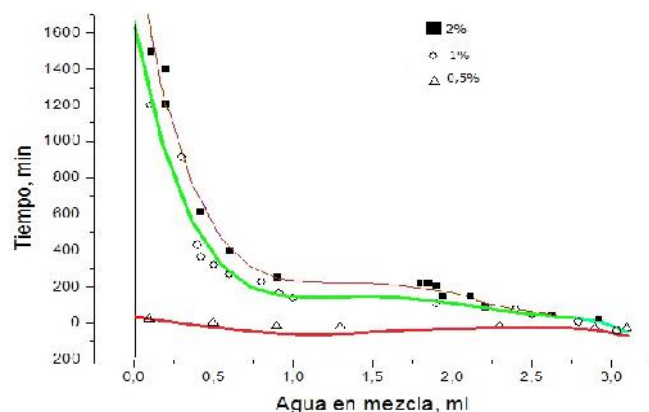


Fig. 6. Velocidad de separación del agua emulsionada para diferentes concentraciones de las soluciones de tensoactivo, 0,5 %, 1 % y 2 %.

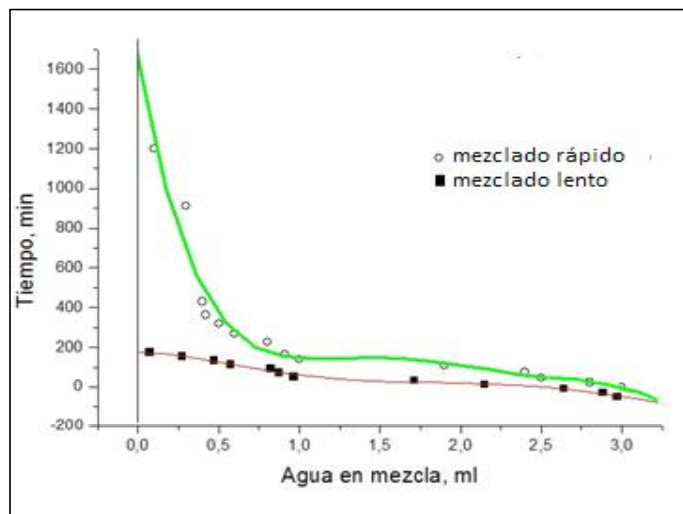


Fig. 7. Comparación de la velocidad de separación del agua para mezclado rápido y lento con emulsión al 1% de solución de surfactante.

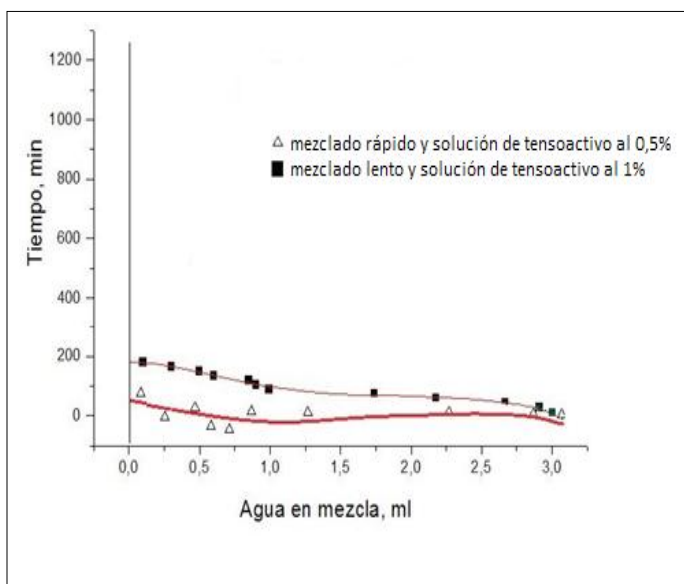


Fig. 8. Comparación entre las emulsiones con mezclado rápido al 0,5 % y mezclado lento al 1 % de solución de tensoactivo.

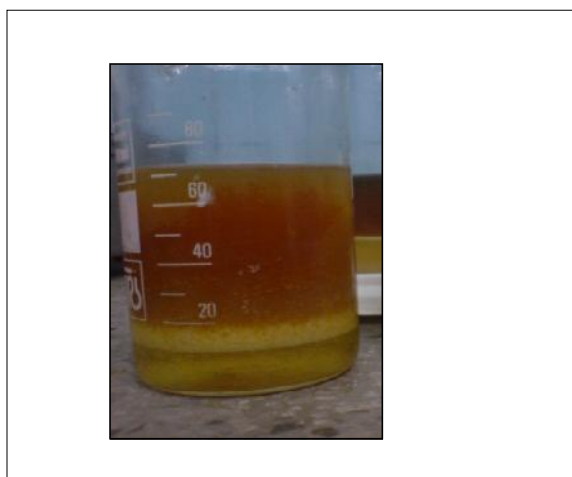


Fig. 9. Proceso de separación de la emulsión.

Emulsiones con petróleo crudo cubano

El trabajo experimental con esta sustancia se torna engorroso debido a sus elevados valores de viscosidad y toxicidad. Por tales razones en el presente trabajo solo se realizan las pruebas mínimas indispensables para obtener su comportamiento ante la formación de emulsiones con soluciones de tensoactivos.

Como primer experimento se elabora una emulsión al 30 % con agua común (sin tensoactivo). El período de agitación fue de un minuto. Ambas sustancias continuaron separadas, o sea, no se produjo la emulsión.

Como segundo experimento se prepararon emulsiones al 30 % con concentraciones de emulsionante de 0,2 % y 0,4 %. La figura 10 muestra la velocidad de separación de las fases, es decir, el volumen de solución decantado (separado) de la mezcla en función del tiempo.

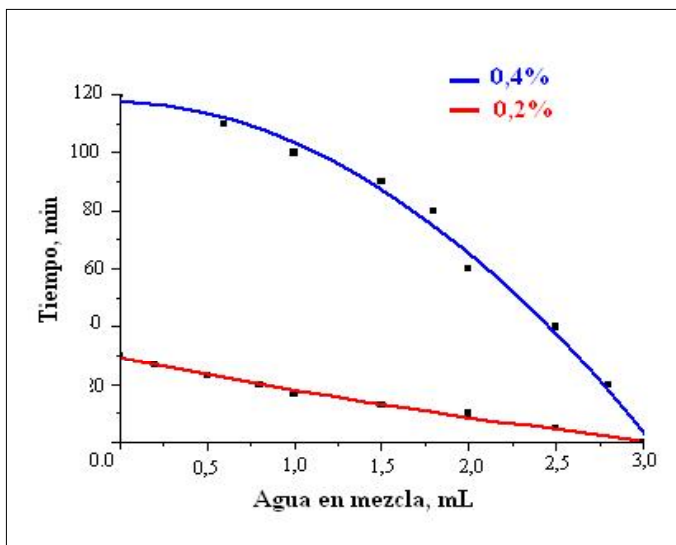


Fig. 10. Velocidades de separación de emulsiones con petróleo crudo cubano y soluciones de tensoactivo al 0,2 y 0,4%.

En la figura 11 se muestra una emulsión de petróleo crudo con solución de tensoactivo al 0,2 % durante el proceso de separación de las fases.



Fig. 11. Proceso de separación de la emulsión.

DISCUSIÓN

Como se aprecia en las figuras 6 y 7, existe una estrecha relación entre el tiempo de mezclado y la estabilidad de la emulsión, manifestándose mayor permanencia de la fase dispersa (solución de tensoactivo) en la emulsión para un mayor tiempo de mezclado. Este incremento en la estabilidad se debe fundamentalmente a la presencia de espuma en la emulsión, como se explicó anteriormente.

En la figura 8 se aprecia que la emulsión al 0,5 % y mezclado rápido es casi tan estable como la emulsión al 1 % y mezclado lento. Lo que corrobora una vez más la influencia del tipo de mezclado y la concentración de tensoactivo sobre la estabilidad de las emulsiones.

Como era de esperar (figura 9), por diferencia de densidades, el aceite se ubica en la parte superior del recipiente y la solución en el fondo del mismo. Sin embargo, el soluto forma una capa justo en la interfase de ambas sustancias. Este comportamiento pudiera permitir la recolección y, por tanto, posible reutilización del agente emulsionante (tensoactivo) en algunas aplicaciones industriales.

En el caso del petróleo crudo cubano se observa un retardo en la separación de las fases con el aumento de la concentración de tensoactivo (figura 10), o sea, la emulsión se torna más estable. Sin embargo, no es posible emulsionar el petróleo crudo solamente con agua. Este comportamiento demuestra que la presencia del tensoactivo es indispensable para la elaboración de la emulsión.

Los resultados obtenidos para el petróleo crudo bruto cubano empleando tensoactivo como agente estabilizador de la emulsión son similares a los del aceite de transmisión empleado. Por tanto, es posible establecer relaciones de semejanzas entre ambas sustancias. Este resultado es de gran importancia debido a que es más sencillo y económico el trabajo experimental con aceite de transmisión que con petróleo crudo.

CONCLUSIONES

El aceite de transmisión y el petróleo crudo bruto cubano presentan comportamiento hidrodinámico similar durante los procesos de formación y ruptura de emulsiones. Manifestándose en ambos casos la acción estabilizadora del agente emulsionante utilizado.

A diferencia del aceite de transmisión, el petróleo no se mezcla (emulsiona) con agua, requiere la presencia de un agente emulsionante (tensoactivo) para ello.

Luego de separada la mezcla, la fase continua (aceite o petróleo) se ubica en la parte superior del recipiente, la solución en el fondo del mismo y el tensoactivo no disuelto en la interfase entre ambas sustancias.

La estabilidad de las emulsiones del tipo W/O dependen de: la concentración del agente emulsionante (tensoactivo), naturaleza del tensoactivo, calidad del agua y técnica de mezclado.

REFERENCIAS

1. LIYANA, M. *et al.* "Stabilization and characterization of heavy crude oil in-water (o/w) emulsions". *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014, vol. 03, núm. 02 [consultado septiembre 2014]. Disponible en Web: <http://www.ijret.org>. ISSN:2319-1163.
2. MARTÍNEZ, R.; CERÓN, R. *et al.* "Desarrollo de una proceso integral para el transporte de crudos pesados. Estudio para la formación y ruptura de emulsiones O/W mediante biotensoactivos" *Ingeniería Petrolera*. 2014, vol. 54, núm. 4, pp.233-247. [consultado septiembre 2014]. Disponible en Web: <http://www.aipmac.org.mx/revista/2014/abril/images/webAbril2014.pdf>. ISSN: 0185-3899.

3. MARTÍNEZ, E.; PIEDRA, M. y OLMO, A. "Empleo de emulsiones con soluciones de tensoactivo para el transporte de sustancias de elevada viscosidad". *Revista Cubana de Ingeniería*. 2015, vol. 6, núm. 1, pp. 51-56 [consultado febrero 2015]. Disponible en Web: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Ingenieria/Vol-6/1-2015/07_rci_01_2015_p_51-56.pdf. ISSN:2223-1781.
4. RODRÍGUEZ, H. *et al.* "Efecto de la relación petróleo agua emulgente en el comportamiento reológico y en la estabilidad de las emulsiones acuosas directas del petróleo crudo cubano utilizando el emulgente p". *Tecnología Química*. 2010, vol. 20, núm. 3 [consultado el: 18 de diciembre 2013]. Disponible en Web: <https://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2853/2348>. ISSN:2224-6185.
5. RODRÍGUEZ, H. *et al.* "Estabilidad de emulsiones acuosas de petróleo crudo pesado con agente emulsionante de productos de pirólisis". *Tecnología Química*. 2013, vol. 33, núm. 3, pp. 253-263 [consultado marzo 2013]. Disponible en Web: <https://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/3726>. ISSN:2224-6185.
6. Cuaderno Firp S747-PP. "Surfactantes" [en línea]. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 2009 [consultado enero 2014]. Disponible en Web: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos>.
7. SHAMES, I. *Mecánica de Fluidos*. 3ra. ed. Colombia: Editorial Martha Edna Suárez, 2011. 850 pp. Disponible en Web: <http://www.freelibros.org/mecanica/mecanica-de-fluidos-3ra-edicion-irving-h-shames.html>. ISBN:958-600-246-2.

AUTORES

Erich Martínez Martín

Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Margarita de la Victoria Piedra Díaz

Ingeniera Mecánica, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Consultante, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Leonardo Acosta Martínez

Estudiante de Ingeniería en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Ronny Rives Sanz

Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Factors Affecting the Stability of Crude and Transmission Oil Emulsion Swith Surfactant Solutions

Abstract

Crude oil emulsions with surfactant solutions are used to transport this for piping systems. The application of this technique requires that the emulsions remain stable during the pumping period and have separated after transporting the crude. In this paper, experimental assays were performed using different concentrations of surfactant, and mixing types settling conditions. They were employed as the continuous phase two substances: oil transmission and Cuban crude oil. The strong influence of the concentration and type of mixing on the stability of the emulsions was observed. The results demonstrate the similarities in thermalhydraulic fluid parameters objects of study. Allowing infer the approximate behavior of the Cuban crude oil from experimental work with transmission oil.

Key words: emulsion, stability, surfactant solutions