

DESHIDRATACIÓN DE EMULSIONES (W/O) PROVENIENTES DE PROCESOS DE TRANSPORTE, Y VALORIZACIÓN DE CRUDOS EXTRAPESADOS DE LA FPOHC

Nerio Carricatti^{1*}, María Rodríguez¹, Sandra Key²

¹ *Escuela de Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela.*

² *Gerencia de Investigación Estratégica en Producción. INTEVEP. El Tambor. Los Teques*

Carricatti@gmail.com

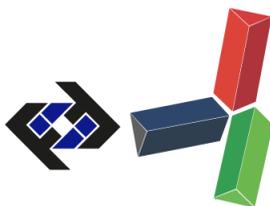
RESUMEN

Una alternativa viable que permite mejorar la fluidez de crudos extrapesados al reducir considerablemente su viscosidad, se basa en el empleo de las emulsiones O/W. De forma general, el transporte del crudo emulsionado se divide en tres etapas: emulsificación, transporte y deshidratación de la emulsión para usos industriales posteriores donde el contenido de agua no debe ser mayor al 1% en peso. En este estudio es evaluado el efecto de variables de formulación y composición sobre la estabilidad de emulsiones O/W con fines de transporte, mediante mediciones de viscosidad dinámica y diámetro de gota promedio que luego fueron sometidas a diferentes condiciones donde se logró valorizar el crudo mediante una solución enzimática, y desestabilizadas e invertidas mediante el análisis de variables fisicoquímicas como proporción y tipo de diluyente, concentración y tipo de sal, pH y temperatura, para luego ser diluidas con un diluyente de carácter aromático y ser sometidas a un proceso de deshidratación termoquímico comparando tres demulsificantes, con el fin de determinar mediante el porcentaje de agua separada si el crudo se encuentra en especificaciones de calidad. Entre los resultados más relevantes se encuentra el uso de una solución enzimática para evaluar de manera conjunta el incremento de la calidad del crudo y la inversión de la emulsión, se estableció una mezcla óptima de surfactantes no iónico e iónico que permitió la formulación de una emulsión O/W sin cambios significativos en sus características físicas y adecuada para el transporte de crudos extrapesados, se encontraron las condiciones óptimas para la desestabilización y deshidratación de las emulsiones formuladas empleando sales polivalentes, energía térmica, diluentes aromáticos de alto grado de aromaticidad de producción nacional y demulsificantes formulados con compuestos naturales lo que se traduce en menores costos de producción.

Palabras Clave: Emulsiones de petróleo, Estabilidad de emulsiones O/W, Desestabilización de emulsiones O/W, Inversión de emulsiones O/W, Deshidratación de crudos.

ABSTRACT

A viable alternative that allows to improve the fluidity of extra-heavy crude oils by considerably reducing its viscosity, is based on the use of O/W emulsions. In general, the transport of the emulsified crude oil is divided into three stages: emulsification, transport and dehydration of the emulsion for later industrial uses where the water content should not be greater than 1% by weight. In this study, the effect of formulation and composition variables on the stability of O / W emulsions for transport purposes was evaluated through measurements of dynamic viscosity and



average drop diameter, which were then subjected to different conditions where the crude was valued by an enzymatic solution, and destabilized and inverted by analyzing physicochemical variables such as proportion and type of diluent, concentration and type of salt, pH and temperature, to then be diluted with an aromatic character diluent and subjected to a thermochemical dehydration process comparing three demulsifiers, in order to determine by the percentage of water separated if the crude is in quality specifications. Among the most relevant results, there is the use of an enzymatic solution to jointly evaluate the increase in the quality of the crude oil and the inversion of the emulsion, an optimal mixture of nonionic and ionic surfactants was established which allowed the formulation of an O/W emulsion without significant changes in its physical characteristics and suitable for the transport of extra-heavy crudes, the optimal conditions were found for the destabilization and dehydration of the emulsions formulated using polyvalent salts, thermal energy, high-grade aromaticity diluents of national production and demulsifiers formulated with natural compounds which mean into lower production costs.

Keywords: Crude oil emulsions, O/W emulsions stability, O/W emulsion destabilization, O/W emulsion inversion, Crude oil dehydration.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que Venezuela posee las más grandes e importantes reservas de crudo pesado y extrapesado [1], es difícil el desarrollo y la producción de estos tipos de crudos motivado a la complejidad de su composición y su alta viscosidad. Por esto, emplear un sistema que permita balancear estas dificultades sin invertir altas sumas de dinero es objeto de investigación para el desarrollo del país de forma sustentable. Actualmente existen múltiples tecnologías para el transporte del crudo como la dilución de este con diluentes orgánicos o fracciones de crudo más ligeras, calentamiento a elevadas temperaturas, entre otros, que involucran altos costos de proceso. Otra tecnología que permite mejorar la fluidez del crudo extrapesado al reducir notablemente su viscosidad, se basa en el empleo de las emulsiones O/W [2].

En el presente trabajo de investigación, se realiza un estudio de las emulsiones O/W, donde es importante conocer la estructura y las propiedades que componen a este de modo tal que, optimizando variables de composición como concentración de surfactante, concentración de aditivos químicos, mezcla de surfactantes de diferentes tipos y variables de formulación como velocidad de agitación y tiempo de agitación, se tengan emulsiones de estabilidad controlada que permitan la producción del crudo de la forma más eficiente posible.

Luego de la optimización de los parámetros de formación de emulsiones O/W y transportado el crudo al sitio de destino, es necesario desestabilizar la emulsión con el propósito de tener el crudo en especificaciones de calidad [3]. Por esto, se emplearon sistemas en donde se evaluó la influencia de sales de distinto poder catiónico y aniónico, el efecto del pH del medio acuoso generado por la presencia de estas sales, el peso de la fuerza iónica durante la desestabilización, las alteraciones generadas en la interfase crudo/agua al aumentar la temperatura, el tipo de diluyente y su impacto en la inversión y separación de las fases, y el empleo de un agente enzimático que incremente el valor comercial del crudo.

Aunado a lo dicho anteriormente, es bien conocido que la alta estabilidad de las emulsiones son el mayor desafío para la industria petrolera. Los crudos pesados y extrapesados contienen grandes

cantidades de componentes estabilizantes de las emulsiones, y es por esto que emplear únicamente una simple sedimentación por gravedad no da lugar a la separación de las fases deseada [4]. Por ello, se requiere emplear distintas técnicas de deshidratación en conjunto para obtener el crudo con el menor contenido de agua posible.

METODOLOGÍA

En primer lugar, se caracterizó los distintos fluidos empleados durante la fase experimental. Entre esos se tiene el crudo extrapesado del distrito Morichal de la FPOHC, el agua y los surfactantes no iónico e iónico empleados durante la formulación de emulsiones O/W y los diluentes empleados durante la fase de desestabilización de estas emulsiones.

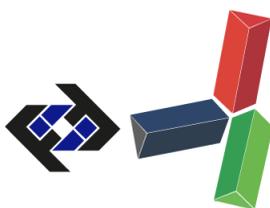
Posteriormente se realizó la formulación de las emulsiones O/W para el transporte del crudo, donde se consideró que las emulsiones son de una relación 70/30, la temperatura de emulsión es de 60 °C, el impulsor empleado es del tipo batidora, y que la cantidad de emulsión a preparar en el beaker viene por condiciones estándar de mezclado [5]. Una vez preparada la emulsión, mediante la técnica de difracción de luz láser se midió el diámetro de gota promedio $D[3,2]$ con el fin de optimizar los distintos parámetros de la emulsión: concentración de surfactante no iónico, no iónico/aditivo, iónico, no iónico/iónico, y velocidad y tiempo de agitación, para luego de seleccionada la emulsión con las mejores características para el transporte del crudo, realizar una prueba de estabilidad estática y determinar si existen cambios significativos en cuando al diámetro de gota promedio o la viscosidad dinámica de esta a 60 °C.

Una vez determinada la emulsión O/W más adecuada, se procedió a la desestabilización e inversión de la emulsión mediante 3 criterios: el primer criterio consistió en añadir una solución acuosa que contuvo como aditivos un componente enzimático y una sal de los distintos tipos de sales estudiados (NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂, MgSO₄, AlCl₃ y Al₂(SO₄)₃), el segundo criterio se basó en la adición de un diluyente de los 5 distintos diluentes estudiados de diferente carácter aromático tomando como base el tolueno y mezclas de este con solventes polares y cortes de refinería, el último criterio se fundamentó en adición de una solución micelar (sistema sal, diluyente, enzima) donde se combinaran los mejores resultados obtenidos de los criterios anteriores. Luego de agregar la solución correspondiente al criterio en estudio, se realizó un tratamiento térmico a 80 °C por 24 horas, que resultó en una inversión de la emulsión y una separación de fases donde a la fase acuosa se le determinó el pH, mientras que a la fase con alto contenido de aceite se le determinó el porcentaje de agua y sedimentos.

Finalmente, una vez determinadas las características apropiadas para la desestabilización e inversión de la emulsión O/W, se realizó un estudio de deshidratación donde se evaluó la eficiencia en función al porcentaje de agua separada de dos demulsificantes formulados con compuestos naturales (A y B) con un demulsificante comercial (C) a 60 y 80 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre las etapas para el transporte del crudo de forma emulsionada, se puede destacar a la primera de estas (emulsificación) como la más importante para lograr un desarrollo adecuado del proceso de transporte. Es por esto, que es necesario realizar un estudio de las variables de formulación y composición. A continuación, se presenta el mismo.



Formulación de emulsiones O/W

Los factores experimentales que ejercen mayor influencia sobre las emulsiones para el transporte del crudo a través de oleoductos son: la concentración de agentes tensoactivos, velocidad de agitación y tiempo de agitación [2]. En la Tabla 1 se muestra la influencia de cada uno de estos factores experimentales sobre la estabilidad de la emulsión empleando el diámetro de gota promedio como variable de respuesta.

Tabla 1. Influencia de variables de formulación/composición en la estabilidad de una emulsión.

Parámetro Evaluado	Intervalo de Estudio	Valores de D[3,2] (µm)	Punto óptimo
Concentración de Surfactante No iónico	1500-3000 ppm	55-89	3000 ppm → 55 µm
Concentración de Surfactante Iónico	300-3000 ppm	W/O	No se obtuvo
Relación Surfactante No iónico/Aditivo	7,5-11,5	39-47	7,5 → 47 µm
Velocidad de agitación	750-1500 rpm	47-29	1000 rpm → 35 µm
Tiempo de agitación	2-5 min	35-56	2 min → 35 µm
Relación Surfactante No iónico/Iónico	5-15	19-23	15 → 23 µm

Inicialmente se emplea el surfactante no iónico polietoxilado como base del estudio, debido a que teóricamente estos son los más idóneos y versátiles para la formulación de emulsiones O/W al ser compatibles con otros tipos de surfactantes, al no ionizarse en fase acuosa, al ser menos sensibles a cambios de pH y a la presencia de electrolitos [6]. En la Tabla 1, se puede apreciar una tendencia esperada en cuanto a los valores obtenidos al variar la concentración de surfactante no iónico debido a que estos se adsorben en la interfase crudo/agua, disminuyen la tensión interfacial y esto favorece la ruptura de la interfase en pequeñas gotas [7]. Se tomó como punto óptimo el valor de 3000 ppm tomando como referencia los valores empleados en el proceso de Orimulsión®, considerando que el exceso de surfactante puede sobresaturar la interfase y desestabilizar la emulsión [8] o generar espuma durante el agitado [9], por lo que se evaluaron aditivos para aportar el balance adecuado a la estabilidad de la emulsión.

Por otro lado, al emplear el surfactante iónico se obtuvo una emulsión altamente viscosa característica de las emulsiones W/O. Estos resultados se atribuyen a la disminución del carácter hidrofílico del surfactante iónico por efectos de baja temperatura y a la disminución de las interacciones electrostáticas entre las partes hidrofílicas por la presencia de sales en la fase acuosa [10].

Al emplear como aditivo una amina de cadena corta que activara parcialmente los surfactantes naturales del tipo ácido carboxílico presentes en el crudo, se demostró que estas actúan sinérgicamente en el sistema emulsionado al reducir el tamaño de gota promedio de la emulsión [11]. Esto debido a las interacciones electrostáticas de la parte polar de estos surfactantes iónicos activados.

De las condiciones de mezclado, se destaca que al aumentar la velocidad de agitación se incrementa el cizallamiento o los esfuerzos cortantes sobre la interfase, lo que genera un diámetro de gota promedio menor. Sin embargo, se observó que aumentar por encima de 1000 rpm, no representó un cambio significativo en la estabilidad en comparación al aumento de la energía de mezclado. Por otra parte, se encontró que al prolongar los tiempos de agitación se induce a la desestabilización del sistema, posiblemente debido a la alta velocidad de agitación que puede incurrir en la inversión de forma catastrófica de la emulsión [12], a que la misma no es dinámicamente estable, al posible ingreso de aire al sistema, y a que se vencen las fuerzas de separación inducidas por las moléculas

de surfactantes a través del tipo de agitado [13].

Finalmente, se logró encontrar un surfactante iónico comercial que funcionara sinérgicamente a bajas concentraciones con el surfactante no iónico y a las condiciones óptimas de mezclado determinadas anteriormente, que proporcionara un aumento notorio en la estabilidad de la emulsión. Esto se debe a que las gotas están protegidas y estabilizadas no solo por efectos estéricos debido al surfactante no iónico, sino que además lo están por efectos electrostáticos por el surfactante iónico [8,14].

En este punto se determinó que la mejor formulación se encuentra al emplear el surfactante no iónico en conjunto con el surfactante iónico a las condiciones óptimas de mezclado. Sin embargo, con el fin de evaluar si existe algún cambio drástico en las características físicas de la emulsión O/W, se realizó una prueba de estabilidad estática durante 10 días donde además se redujo en un 33% la concentración de surfactante no iónico para evaluar esta emulsión a condiciones más severas, y debido a que el diámetro de gota promedio deseado se encontraba entre 30 y 40 μm . En la Figura 1 se puede observar en el gráfico a la izquierda el diámetro de gota promedio y la viscosidad dinámica a 60°C y 20 s^{-1} en función al tiempo, y en el gráfico a la derecha el comportamiento reológico de la emulsión en función al tiempo.

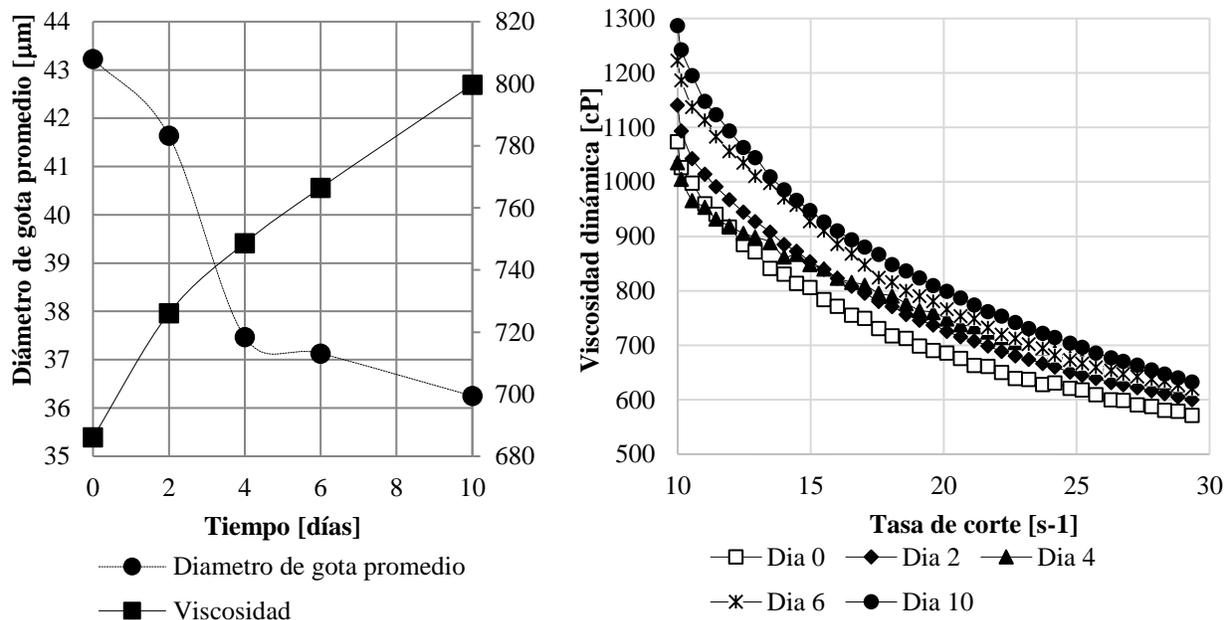
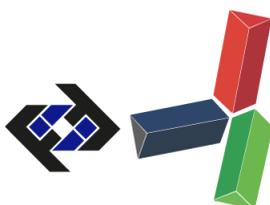


Figura 1. Prueba de estabilidad estática de la emulsión O/W.

Como se puede apreciar en el gráfico a la izquierda de la Figura 1, las propiedades no varían significativamente, por lo que la emulsión es cinéticamente estable en el tiempo evaluado. Sin embargo, la disminución en cuanto al diámetro de gota promedio se debe a que la película que rodea la gota se vuelve más rígida y fuerte al transcurrir el tiempo motivado a la migración y al arreglo de las especies interfacialmente activas en la interfase [15]. Por otro lado, se logró disminuir la viscosidad en un 92% en relación a la viscosidad del crudo, y la variación en cuanto esta propiedad, se debe a la formación de agregados moleculares o flóculos, al aumento en la concentración de gotas y/o a variaciones en la polidispersidad de las gotas que incrementan la



viscosidad aparente de la fase continua y la estabilidad de la emulsión al disminuir la frecuencia de colisión por reducción del movimiento Browniano dentro del sistema [16]. En cuanto al comportamiento reológico, se puede destacar que las curvas son características de un fluido pseudoplástico, y que este comportamiento se mantiene en función al tiempo.

Desestabilización e inversión de emulsiones O/W

Criterio de adición de fase acuosa

El primer criterio para evaluar la desestabilización e inversión de la emulsión elegida como la más adecuada para el transporte del crudo extrapesado, consistió en la adición de una solución acuosa con aditivos, entre los que se destaca sales de distinto poder catiónico y aniónico. En la Tabla 2, se presentan los resultados correspondientes a las sales empleadas a 9000 ppm de concentración de las distintas pruebas realizadas.

Tabla 2. Estudio de desestabilización según tipo de sal

Propiedad	Tipo de Sal						
	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl	MgSO ₄	AlCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	Blanco
Agua Total Separada (%)	88,62	90,76	94,85	92,90	88,97	87,54	83,66
Agua Remanente en Crudo (%)	9,95	8,52	5,15	7,10	10,32	7,46	14,91
pH de fase acuosa	7,62	7,75	6,34	6,57	3,15	1,62	7,17

Luego del tratamiento térmico en conjunto con el efecto desestabilizador de las sales, se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 2, donde se puede resaltar que con el aumento de la temperatura ocurrió la desolvatación de las cadenas de polióxido de etileno del surfactante no iónico, a causa de la ruptura de puentes de hidrógeno entre las moléculas de surfactante y agua, lo que generó que el sistema adquiriera mayor afinidad por la fase oleosa al alcanzar la temperatura de inversión de fase [6,17,18]. Adicionalmente, la presencia de electrolitos tiende a disminuir la barrera de potencial repulsivo al disminuir las interacciones hidrofílicas entre moléculas de surfactantes y de agua, favoreciendo en menor proporción la migración de agentes tensoactivos a la interfase, lo que favorece la coalescencia del sistema [19]; y por tanto confiere al MgCl como la sal que genera mayor desestabilización al sistema. En cuanto al pH, su efecto desestabilizador se debe a la protonación de grupos amina y otros grupos ácido/base del crudo que limitan la actividad interfacial [14], encontrándose el óptimo entre 6 y 7 como reportan otros autores [16,20,21].

Criterio de adición de fase oleosa

El segundo criterio para evaluar la desestabilización e inversión de la emulsión elegida como la idónea para el transporte del crudo extrapesado, consistió en la adición de un diluyente. En la Tabla 3, se presentan los resultados correspondientes a las distintas pruebas realizadas, donde cabe resaltar que los diluyentes con alto contenido de compuestos alifáticos (corte de refinería) no generaron la suficiente inestabilidad para la realización de las pruebas, por lo que fueron descartados para los ensayos posteriores.

Tabla 3. Estudio de desestabilización según tipo de diluyente

Propiedad	Tipo de Diluyente		
	Tolueno	Mezcla Aromáticos	Tolueno:Solvente Polar
Agua Total Separada (%)	96,45	90,45	93,98
Agua Remanente en Crudo (%)	3,55	9,55	6,02

De los resultados mostrados en la Tabla 3, se puede distinguir que tomando como base al tolueno,

mientras mayor es el poder o grado de aromaticidad para un diluyente, mayor es la desestabilización, y esto motivado a la solubilización y dispersión parcial de los asfaltenos en el crudo [22] que evita la formación de agregados moleculares que se adsorban en la interfase y al efecto debilitador sobre la película interfacial de las gotas en conjunto con el aumento de la temperatura [23].

Combinación de criterios

El último criterio se basó en la combinación de la sal elegida como la más apropiada para la desestabilización del sistema emulsionado, en conjunto con los diluyentes que arrojaron los mejores resultados en función al porcentaje de agua separada y un aditivo de carácter enzimático para evaluar la sinergia entre estos, empleando una solución micelar. En la Tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4. Estudio de desestabilización según tipo de solución micelar

Propiedad	Tipo de Solución Micelar			
	Tolueno	Mezcla Aromáticos	Tolueno:Solvente Polar	Blanco
Agua Total Separada (%)	99,21	96,23	93,04	95,90
Agua Remanente en Crudo (%)	0,79	2,65	6,40	2,99
pH de fase acuosa	10,01	10,69	10,80	10,70

En la Tabla 4 se puede apreciar que existe una alta sinergia al combinar los efectos de temperatura, salinidad y dilución, debido a que estos en conjunto favorecen la desestabilización de la película interfacial. Adicionalmente, se puede observar el efecto desestabilizador que representa el componente enzimático al comparar los valores arrojados por el blanco (mismo sistema tolueno sin enzima) con el tolueno, el cual contiene la enzima; siendo importante destacar, que estos resultados abren las puertas a la profundización de los efectos de la enzima sobre el crudo extrapesado. En cuanto al pH, los resultados obtenidos se deben a la ionización de grupos polares de compuestos interfacialmente activos que afectan la cohesión de la película interfacial y a la fuerte influencia sobre las propiedades interfaciales de los asfaltenos en la interfase que promueven la desestabilización del sistema [24].

Deshidratación de emulsiones W/O

En el punto anterior, el sistema con tolueno arrojó tan excelentes resultados, que para poder comparar los demulsificantes formulados con compuestos naturales (A y B) con el demulsificante comercial (C), se decidió elegir el segundo sistema que aún no se encontraba en especificaciones de calidad, es decir, el de la mezcla de aromáticos para continuar con el estudio. A continuación, se presenta la Figura 2 donde se tiene de lado izquierdo la prueba de deshidratación a 60 °C y de lado derecho la prueba de deshidratación a 80 °C.

Del gráfico a la izquierda, se puede apreciar que la deshidratación obtenida fue muy baja, más sin embargo, los demulsificantes formulados presentan mejores resultados en comparación al demulsificante comercial. Al aumentar 20 °C la temperatura, se puede ver la notable influencia de esta variable sobre la deshidratación de crudos, al aumentar en más de 2.5 veces el porcentaje de agua separada gracias al aumento del movimiento Browniano y a la disminución de la viscosidad interfacial que promueve el drenaje de la película interfacial y facilita la coalescencia [4,25].

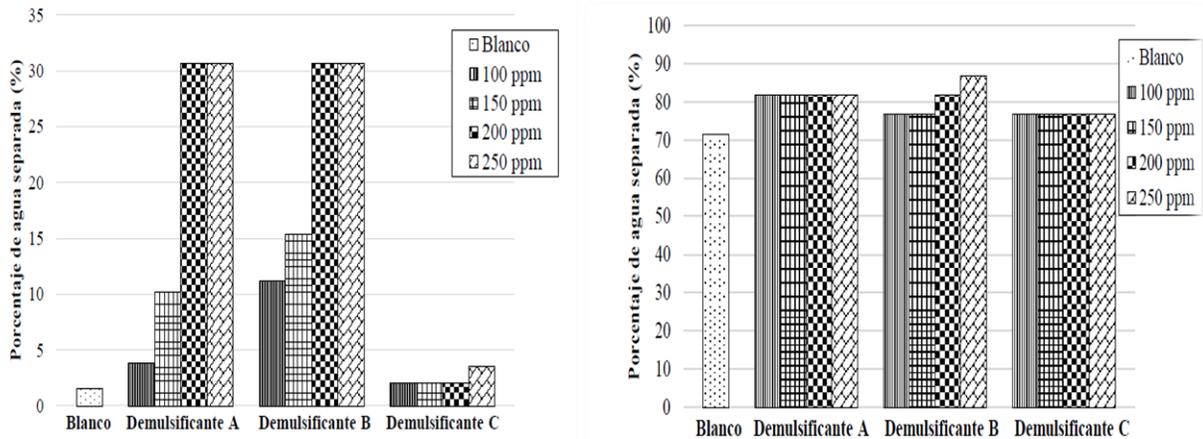


Figura 2. Pruebas de deshidratación de emulsiones W/O.

Sin embargo, como no se alcanzó tener el crudo con un porcentaje menor al 1% en peso de agua, es necesario mejorar los parámetros de deshidratación para igualar las interacciones lipo-hidrofílicas y maximizar el proceso de demulsificación, o emplear una técnica adicional de deshidratación como campo eléctrico/irradiación de microondas. No obstante, con los resultados obtenidos de la Figura 2, se pudo obtener un demulsificante (B) que optimizado puede significar un aporte importante a la industria petrolera en cuanto a la reducción de costos de productos químicos demulsificantes.

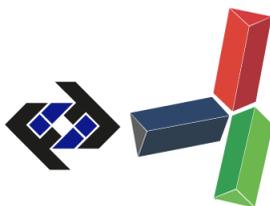
CONCLUSIONES

Al optimizar los parámetros fluidodinámicos del proceso de agitado en conjunto con un aditivo químico de tipo amina de cadena corta se pueden activar los surfactantes naturales del crudo y promover la estabilidad de la emulsión. De forma similar, se encontró un surfactante iónico comercial que permitió reducir en un 33% la concentración de surfactante no iónico en relación al proceso de Orimulsión® gracias al efecto sinérgico entre estos tipos de surfactantes, lo que permite formular emulsiones O/W sin tomar en cuenta la acidez del crudo, y además con este sistema se reduce la viscosidad del mismo en más de 90% en forma emulsionada siendo estable cinéticamente en el tiempo de forma estática.

Mediante el efecto de un tratamiento térmico, el empleo de sales polivalentes, diluentes aromáticos de alto grado de aromaticidad y un componente enzimático, se pueden alcanzar excelentes resultados en la desestabilización e inversión de emulsiones O/W. Adicionalmente, gracias al estudio de deshidratación realizado, se encontró un demulsificante formulado con compuestos naturales que podría suponer una alternativa en relación al empleo de demulsificantes comerciales lo que implicaría una reducción en cuanto a costos.

REFERENCIAS

- [1] OPEC. (2017). Annual Statistical Bulletin. *Organization of the Petroleum Exporting Countries*(52), 25-28.
- [2] Martínez, E., Ramírez, F., & Acosta, L. (2016). Emulsificación de petróleo crudo para su transporte por oleoductos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(3), 395-403.
- [3] Marquez, R., Forgiarini, A., & Bullon, J. (2007). "Emulsiones Parentales". Cuaderno FIRP S485-A. Universidad



- de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Venezuela: Laboratorio FIRP.
- [4] Velásquez, I., & Pereira, J. C. (12 de 2014). Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. *Revista Ingeniería UC*, 21(3), 45-54.
- [5] Castillo, V. (2013). Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis de Grado, Universidad del Bío-Bío, Departamento de Ingeniería Mecánica, Concepción, Chile.
- [6] Salager, J. L. (2002). "Surfactantes". Tipos y Usos. Cuaderno FIRP S300-A. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Venezuela: Laboratorio FIRP.
- [7] Forgiarini, A. M., & Salager, J. L. (2012). Emulsion Stabilization, Breaking, and Inversion Depends upon Formulation: Advantage or Inconvenience in Flow Assurance. *Energy & Fuels*(26), 4027-4033.
- [8] Delgado, N., & Ysambertt, F. (2007). Evaluation of oil-in-water emulsions with non-ionic and anionic surfactants mixtures for potential use in the oil industry. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 30(2), 9-24.
- [9] Martínez Rodríguez, M. (2014). Formación y caracterización de emulsiones altamente concentradas de betún en agua. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, Instituto de Química Avanzada de Catalunya, Facultad de Química, Departamento de Nanotecnología Química y Biomolecular, Barcelona.
- [10] Salager, J. (1993). Surfactantes en Solución Acuosa. Cuaderno FIRP S201-A. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Mérida-Venezuela: Laboratorio FIRP.
- [11] Guánchez, A. M. (2005). Efecto de surfactantes iónicos y no-iónicos sobre las propiedades de emulsiones de crudo extrapesado en agua estabilizada con surfactantes naturales. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Caracas.
- [12] Yang, F., Li, C., Xu, C., & Song, M. (2012). Studies on the normal-to-abnormal emulsion inversion of waxy crude oil-in-water emulsion induced by continuous stirring. *Journal of Petroleum Science and Engineering*(81), 64-69.
- [13] Matamoros Alfonso, L. A. (1998). Influencia de la aireación y agitación sobre la estabilidad de emulsiones del tipo O/W y el crecimiento bacteriano. Tesis de Grado, Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Química, Sartenejas.
- [14] dos Santos, R. G., Bannwart, A. C., Briceño, M. I., & Loh, W. (2011). Physico-chemical properties of heavy crude oil-in-water emulsions stabilized by mixtures of ionic and non-ionic ethoxylated nonylphenol surfactants and medium chain alcohols. *Chemical Engineering Research and Design*, 89, 957-967.
- [15] PetEx. (1990). *Treating Oil Field Emulsions* (Vol. 4). Austin, Texas, EE. UU.: Petroleum Extension Service.
- [16] Kokal, S. (2005). Crude Oil Emulsions: A State Of The Art Review. *Society of Petroleum Engineers*, 5-13.
- [17] Iliá Anisa, A. N., Nour, A. H., & Nour, A. H. (2010). Catastrophic and Transitional Phase Inversion of Water-in-Oil Emulsion for Heavy and Light Crude Oil. *Journal of Applied Sciences*, 10(23), 3076-3083.
- [18] Charin, R. M., Araújo, B. C., Farias, A. C., Tavares, F. W., & Nele, M. (2015). Studies on transitional emulsion phase inversion using the steady state protocol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 424-433.
- [19] Del Carpio García, E. H. (2011). Estabilidad de emulsiones agua-crudo Boscan. Efecto de sales polivalentes, alcoholes y glicoles. Tesis de Maestría, Universidad Simón Bolívar, Departamento de Química, Sartenejas.
- [20] Daaou, M., & Bendedouch, D. (2012). Water pH and surfactant addition effects on the stability of an Algerian crude oil emulsion. *Journal of Saudi Chemical Society*(16), 333-337.
- [21] Hajivand, P., & Vaziri, A. (2015). Optimization of demulsifier formulation for separation of water from crude oil emulsions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32(01), 107-118.
- [22] Ghanavati, M., Shojaei, M. J., & Ramazani, A. (2013). Effect of Asphaltene Content and Temperature on Viscosity of Iranian Heavy Crude Oil: Experimental and Modeling Study. *Energy&Fuels*(27), 7217-7232.
- [23] Phan, J., Balsamo, V., Nguyen, D., Maharajh, E., & Champion, N. (2014). Interfacial Rheology of Heavy Oil-Aqueous Systems at Elevated Temperatures and Pressures: Effect of Diluents. *Society of Petroleum Engineers*, 1-15.
- [24] Poteau, S., Argillier, J.-F., Langevin, D., Pincet, F., & Perez, E. (2005). Influence of pH on Stability and Dynamic Properties of Asphaltenes and Other Amphiphilic Molecules at the Oil-Water Interface. *Energy & Fuels*(19), 1337-1341.
- [25] Zolfaghari, R., Fakhru'l-Razi, A., Abdullah, L. C., Elnashaie, S. S., & Pendashteh, A. (2016). Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry. *Separation and Purification Technology*, 170, 377-407.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>