

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MOJABILIDAD EN LA APLICACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO COMBINADO CON MEDIO COALESCEDOR DE BAJA RESISTENCIA AL FLUJO SOBRE LA DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES DE AGUA EN ACEITE

Luis Cabral^{1*}, María Rodríguez¹, María Carrasco¹

¹*Laboratorio de Separaciones Mecánicas. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*

*luicabral22@gmail.com

RESUMEN

La industria petrolera venezolana, actualmente enfrenta problemas en la etapa de producción de crudo, motivado a la gran cantidad de agua que se encuentra asociada al crudo, el cual se debe retirar para cumplir especificaciones de $1\% \text{ V/V}$ de agua y así evitar problemas de operacionales como corrosión e incrustaciones. En esta investigación se evalúa la desestabilización de una emulsión agua en crudo (W/O), mediante la combinación de la separación electrostática convencional y la incorporación de una estructura coalescedora recubierta por un material de mojabilidad definida, sin el uso de agentes químicos demulsificantes. La emulsión W/O fue una mezcla de residuos de fosas disponible en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas. Se realizó la caracterización de la misma para el conocimiento de sus propiedades: densidad, viscosidad, porcentaje de agua y distribución acumulada de gotas. Luego se eligieron tanto distintas estructuras coalescedoras, como diferentes configuraciones para ubicar las estructuras dentro de la celda de trabajo plana. Se probaron varios materiales como recubrimientos de las estructuras para evaluar su mojabilidad y así estudiar el efecto de está en la desestabilización de la emulsión. Se determinó la distribución acumulada del tamaño de gotas, antes y después de aplicar el tratamiento a la muestra utilizando la técnica de microscopía óptica, y se calculó el factor de desestabilización (FD) con la finalidad de cuantificar la magnitud del cambio ocasionado por el tratamiento empleado. Teniendo que la estructura con mayor FD es la estructura con luz de malla de 0,3 cm recubierta con pintura al frío (FD: 5,7) en posición perpendicular al campo eléctrico, logrando una separación de fases de por lo menos 1ml por cada 15ml de muestra. Además, se comprobó la hipótesis de que a menor ángulo de mojabilidad del medio coalescedor, mayor será la coalescencia.

Palabras Clave: Emulsión agua-crudo, Desestabilización electrostática, Coalescencia, Mojabilidad, Factor de desestabilización, Medio coalescedor.

ABSTRACT

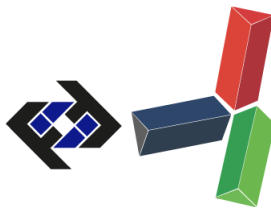
The Venezuelan oil industry, currently has problems in the stage of crude production, motivated the large amount of water that is associated with oil, which must be met the requirements of $1\% \text{ V/V}$ of water and thus avoid operational problems such as corrosion and incrustations. In this research the destabilization of a raw water (W/O) emulsion is evaluated, by combining the conventional electrostatic separation and the incorporation of a combined structure by a suitable wetting material, without the use of chemical demulsifying agents. The W/O emulsion was a mixture of

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>



pits residues available in the Mechanical Separation Laboratory. The characterization was carried out for the knowledge of its properties: density, viscosity, percentage of water and cumulative distribution of drops. Then the structures of the different structures of the flat cell of the work were selected. Several materials were tested as coatings of the structures to evaluate their wettability and thus study the effect of what is in the destabilization of the emulsion. The cumulative distribution of droplet size was determined before and after applying the sample treatment using the optical microscopy technique, and the destabilization factor (FD) was calculated in order to quantify the magnitude of the change caused by the treatment used. . Having the structure with the highest FD is the 0.3 cm mesh structure covered with cold paint (FD: 5.7) perpendicular to the electric field, achieving a phase separation of at least 1ml per each 15ml sample. In addition, we tested the hypothesis that a lower angle of wettability in the environment, the mayor will be coalescence.

Keywords: Water-crude emulsion, Electrostatic destabilization, Coalescence, Wettability, Destabilization factor, Coalescer medium.

INTRODUCCIÓN

En los procesos de la industria petrolera se encuentran productos no deseados; uno de los principales inconvenientes es la presencia de agua, la cual origina emulsiones de agua en aceite (W/O); estas representan un grave problema al generar inconvenientes relacionados a corrosión y obstrucción en tuberías y equipos, así como también incremento en el costo por bombeo. Actualmente las emulsiones W/O se controlan con cuatro tratamientos: el primero es la decantación para descartar el agua libre, el segundo es el uso de agentes demulsificantes que desestabilizan la interfase agua-aceite logrando la coalescencia de las gotas, el tercero es la aplicación del campo eléctrico que promueve el movimiento, acercamiento, choque y unión de las gotas, logrando su coalescencia; y por último se encuentra el aumento de la temperatura que disminuye la viscosidad de la fase continua facilitando la coalescencia de la fase dispersa [1].

Como una posible solución económica y sencilla al problema de las emulsiones se plantea incluir medios coalescedores en los equipos de separación electrostática con el fin de evitar o reducir el uso de demulsificantes y así disminuir los costos operativos. [2] reportó que la mojabilidad del medio coalescedor puede afectar el desempeño del medio cuando se emplea en un tratamiento combinado con el campo eléctrico, por lo que el trabajo propone evaluar el efecto de la mojabilidad en este sistema sobre la desestabilización de emulsiones W/O.

METODOLOGÍA

Para realizar esta investigación se contó con una muestra disponible en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas, este crudo fue caracterizado según las propiedades indicadas en la tabla 1. Allí se observa que la prueba de densidad se realizó bajo el método del picnómetro de tapón capilar, consiste en pesar el picnómetro vacío y lleno, pudiendo determinar así la densidad de la mezcla. Para la prueba de viscosidad se usó un viscosímetro de Brookfield, este equipo según el dial usado expresa el porcentaje de toque entre el eje del equipo y la muestra, el cual debe estar entre 10% y 90% para asegurar que el dial usado sea el correcto, pudiendo así obtener la viscosidad aparente de la muestra por una relación entre el porcentaje de torque y el factor de Frindler

característico de cada dial.

Tabla 1. Análisis de propiedades para la caracterización de la muestra

Propiedad analizada	Norma/Métodos
Densidad	Norma ISO 3838:2004: Método del picnómetro de tapón capilar.
Viscosidad	Manual del LSM-UCV: Uso del viscosímetro de Brookfield, modelo LVF.
Contenido de agua	Norma ASTM D-4006: Agua por destilación
Contenido de agua y sedimentos	Norma ASTM D-4007: Centrifugación de muestra
Distribución del tamaño de gotas	Técnica de microscopía para la caracterización de emulsiones (Fung, 2011)

Modificado de Casanova & Leuzinger (2016)

Para el contenido de agua por destilación se debe tener un montaje compuesto por un balón de destilación de 500 ml, una manta de calentamiento, un condensador que usó como fluido de enfriamiento agua y por último un recolector de condensado. Al balón se le añadió 5 gr de muestra y 50 ml de xileno (solvente), se dejó por un tiempo de 2 horas sobre la manta. En este tiempo se evaporó toda el agua contenida en la muestra y por diferencia de densidad entre el agua y el xileno se pudo cuantificar la cantidad de esta última en la muestra.

Para el contenido de agua y sedimentos, se prepararon 4 tubos de ensayo (zanahorias) con 5 gr de la muestra y 5 ml de xileno, agitándolo por 1 min y luego llevado a la centrífuga Martin Christ Osterode/Harz tipo UJ3 por un tiempo de 10 min y 2500 a 2700 rpm. Observándose por sedimentación la cantidad de sólidos y sedimentos. Por último, para obtener la distribución acumulada del tamaño de gota, se tomó la macro realizada por Fung (2011), que permite a través, de una distribución estadística calcular como varían los diámetros de las gotas en la distribución acumulada.

Para evaluar la desestabilización en la muestra final, se dispuso de una celda plana de 5 cm de alto, 0,8 cm de ancho y 1 cm de profundidad, diseñada con acrílico y compuesta por 2 electrodos de cobre (3 mm de espesor) en su interior. Los medios coalescedores tendrán luz de malla diferentes entre si uno con 0,3 cm, otro con 0,2 cm y 0,1 cm. Estas estructuras fueron colocadas dentro de la celda paralela y perpendicular a los electrodos como se observa en la figura 2.

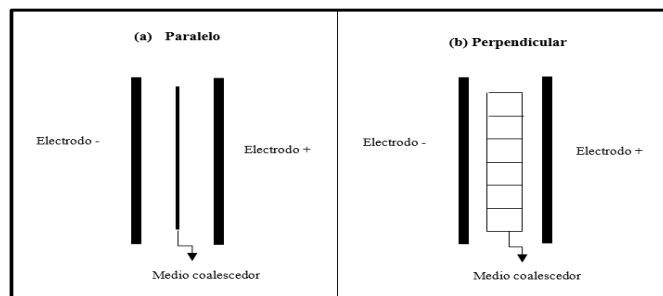


Figura 1. Configuración del medio coalescedor en la celda plana.

Además fueron recubiertas por diferentes materiales como: sellador, teflón líquido, anticorrosivo, esmalte de uñas, pintura de aceite, pega blanca, silicón, pintura al frío, tempera y pintura de agua. A cada uno de estos recubrimientos se le midió el ángulo de contacto con la superficie,

clasificándolos así en mojabilidad hidrofílica, intermedia e hidrofóbica. Esta propiedad se obtuvo gracias a un montaje que consta de un recipiente de vidrio con abertura del diámetro de una aguja en la tapa superior, una jeringa, agua destilada y una cámara fotográfica sin flash. El recipiente debe poseer en el fondo agua destilada, formando así un equilibrio líquido-vapor que no alterará el ángulo de mojabilidad; colocando dentro del recipiente un porta muestra recubierta por el material a estudiar, se dejó caer una gota de agua destilada con la jeringa siempre perpendicular al porta muestra y se dejó reposar por 10 min para que alcanzará el equilibrio líquido-vapor. Luego se tomó una fotografía sin flash que fue analizada usando el software ImageJ, que mide el ángulo que forma la superficie con la recta tangente que toca el más cercano de la gota.

Por último, se calculó el factor de desestabilización (FD) siendo este un parámetro que cuantifica el efecto alcanzado con la aplicación de los diferentes tratamientos propuestos en el estudio de la desestabilización de emulsiones W/O. A continuación se presenta la ecuación usada:

$$FDG = \frac{\lambda - \left(\int_{X_{min}^{\circ}}^{X_{max}^{\circ}} f_2(x) dx \right)}{\lambda - \left((X_{max} - X_{max}^{\circ}) + \int_{X_{min}^{\circ}}^{X_{max}^{\circ}} f_2^{\circ}(x) dx \right)} \quad (1)$$

Donde:

X°_{min} : mínimo diámetro de la curva de distribución acumulada de gotas en la muestra antes de la aplicación de campo eléctrico [μm].

X°_{max} : máximo diámetro de la curva de distribución acumulada de gotas en la muestra antes de la aplicación de campo eléctrico [μm].

X_{min} : mínimo diámetro de la curva de distribución acumulada de gotas de la muestra después de la aplicación de campo eléctrico [μm].

X_{max} : máximo diámetro de la curva de distribución acumulada de gotas de la muestra después de la aplicación de campo eléctrico [μm].

$f_2(x)$: función de ajuste de distribución acumulada de gotas [Adim].

λ : área máxima comprendido entre el mínimo y máximo diámetro reportado en ambas curvas [u^2].

La ventaja de usar este parámetro es que toma todos los diámetros de los objetos captados por el microscopio, incluyendo así una integral que es evaluada entre el mínimo y el máximo diámetro. Todos los datos que alimentan a esta ecuación son resultado del análisis hecho por la macro de Fung 2011.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra de trabajo, es una mezcla de residuos de crudo generados en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas. Esta muestra fue caracterizada, como se puede observar en la tabla 2, el hidrocarburo se clasifica del tipo pesado por tener una densidad menor a 22,3 °API y una viscosidad mayor a 10cP [3].

La emulsión es estable ya que la diferencia entre la densidad de la fase dispersa y la fase continua es de 8,8%. Esto de acuerdo a la Ley de Stokes, refiriéndose a que el tiempo de sedimentación y la estabilidad de la emulsión aumentarán al reducir la diferencia entre los fluidos que componen la emulsión [4].

Tabla 2. Caracterización de la muestra de trabajo Fosa UCV.

Propiedad	Valor
Densidad de la mezcla (25°C) (g/ml)	0,944
°API	21,3
Viscosidad (25°C) (cP)	2.283
Contenido de agua (% ^V / _V)	18,8
Mediana de la distribución acumulada (D ₅₀) (μm)	87,06

En cuanto a la distribución acumulada del tamaño de gota se presenta la siguiente figura.

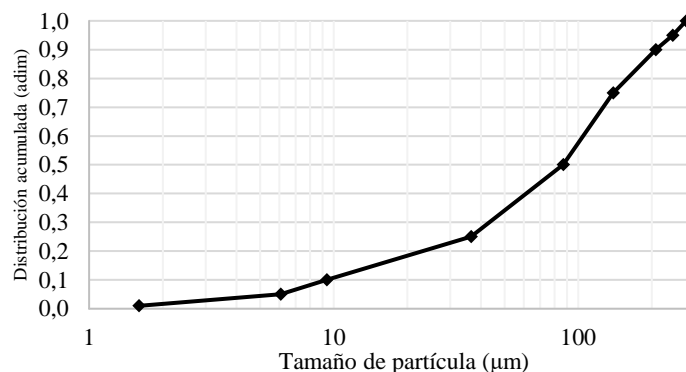


Figura 1. Distribución acumulada del tamaño de gota en la muestra inicial

En la figura 1 se aprecia que, en la distribución acumulada de gota, la mediana de la distribución (D₅₀) es de aproximadamente 87,06 μm, presentando un D_{máx} o D₁₀₀ de 276,52 μm. Esta distribución fue obtenida a través de la macro de Fung (2011), la cual, mediante el estudio de las imágenes microscópicas determina un contenido de agua de 7,92% demostrando una notable diferencia con respecto a la determinación de la prueba de agua por destilación para la que se obtuvo un valor de 18,8%. La gran diferencia que existe entre estos dos valores se atribuye al hecho de que el microscopio no tiene la capacidad de resolución para detectar las gotas menores a 1 μm.

Las configuraciones de los medios fueron paralela y perpendiculares a los electrodos como se mostró en la metodología, la configuración perpendicular a los electrodos tiene menor distancia entre la malla y los electrodos, a comparación de la estructura paralela, es decir, los canales de agua que se pueden formar en las estructuras perpendiculares a los electrodos entran en contacto con las láminas de cobre generando una mayor caída del voltaje. En este orden de ideas, mover una carga dentro de un campo eléctrico compuesto por dos placas requiere un trabajo, que puede ser afectado por la interferencia que exista en las líneas imaginarias del recorrido de dicha carga [6].

Por otra parte, el ángulo de contacto para cada recubrimiento vario según los valores reportados en la tabla 3. En la tabla 3, se puede apreciar que los recubrimientos con mojabilidad intermedia, son los que tienen un ángulo de contacto que varía entre 60° y 90° aproximadamente, siendo estos: sellador, teflón líquido, anticorrosivo, esmalte de uñas y pintura de aceite.

Tabla 3. Ángulo de contacto de los recubrimientos evaluados

Recubrimiento	Ángulo de contacto (Grados \pm 0,001)
Sellador	87,397
Teflón líquido	81,073
Anticorrosivo	75,317
Esmalte de uñas	68,456
Pintura de aceite	64,281
Pega blanca	43,976
Silicón	42,117
Pintura al frío	25,843
Tempera	22,461
Pintura de agua	22,313

Se seleccionaron los mejores recubrimientos siguiendo una matriz de selección donde los parámetros evaluados fueron: ángulo de contacto, facilidad para recubrir el medio coalescedor y capacidad del material para recubrir la malla. A continuación se presenta dicha matriz.

Tabla 4. Matriz de selección de recubrimientos.

Alternativas	Criterios			Totales
	Ángulo de contacto	Facilidad de recubrimiento	Capacidad para recubrir	
Sellador	5	4	5	100
Teflón líquido	4	1	4	16
Anticorrosivo	4	4	3	48
Esmalte de uñas	3	4	4	48
Pintura de aceite	3	4	3	36
Pega blanca	4	4	5	80
Silicón	4	1	3	12
Pintura al frío	5	5	5	125
Tempera	5	4	1	16
Pintura de agua	5	4	1	16

Como se puede apreciar en la tabla 4, el ángulo de contacto entre el sellador, teflón líquido, anticorrosivo, esmalte de uñas y pintura de aceite no existe diferencia la mojabilidad, por lo que se consideró el resultado con mayor ángulo de contacto para evaluar el extremo superior de todos los valores obtenidos.

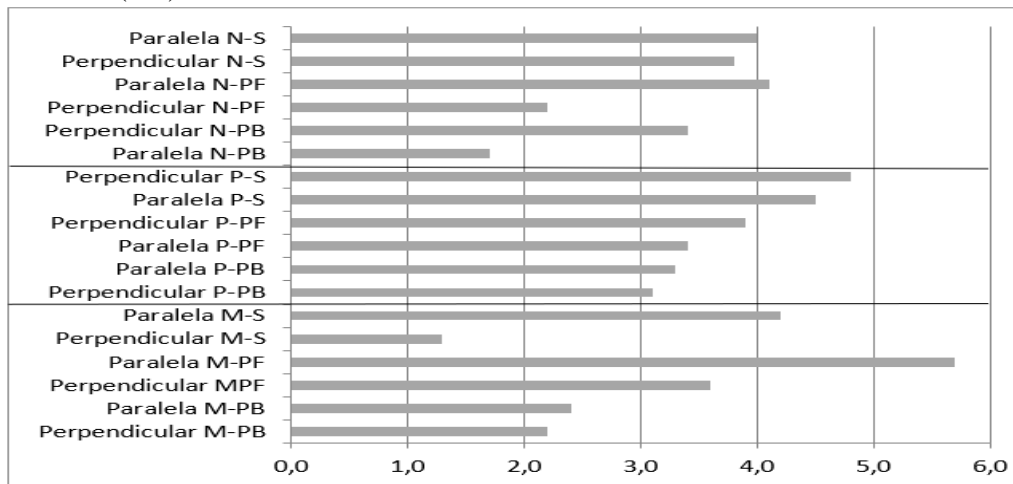
En cuanto a los demás recubrimientos se tiene que la pintura al frío, tempera y la pintura de agua, se caracterizaron por poseer el ángulo de contacto más bajo, mientras que la pega blanca y silicón

tienen una diferencia de 20° con respecto a estos últimos, por ende su valoración fue menor; además como se explicó anteriormente, se desean valores extremos para buscar un patrón en los resultados. La diferencia entre la mojabilidad del medio coalescedor con la fase dispersa de la emulsión debe tender a cero, para que el tamaño de la gota aumente [6].

En cuanto a la facilidad para recubrir las mallas coalescedoras, el que mejor puntaje obtuvo fue la pintura al frío ya que no obstruía la luz de malla para ninguna de las 3 estructuras, el teflón líquido y el silicón que por ser fluidos muy viscosos complicaron el recubrimiento de toda la malla y a su vez mantener el área superficial de cada una por su rápido secado, incrementando su dificultad al poseer gran cantidad de grumos. Con respecto a la capacidad de recubrir las mallas, la pintura al frío, la pega blanca y el sellador fueron los que mejor comportamiento arrojaron, ya que cubrieron por completo las estructuras sin dejar zonas en blanco.

El sellador, la pega blanca y la pintura al frío obtuvieron los máximos puntajes en la matriz de selección, es por esto que fueron los recubrimientos que se usaron en las pruebas siguientes de la investigación.

Para evaluar la desestabilización obtenida con las mallas se presenta la figura 2 con la finalidad de estudiar como afecta la luz de malla a la desestabilización de la emulsión a través del factor de desestabilización (FD).



PF: pintura al frío, S: sellador, PB: sellador, N: nylon, P: plástica M: metálica

Figura 2. Factor de desestabilización obtenido para cada experiencia realizada

El FD obtenido para las diferentes pruebas presenta valores similares, pero es importante recalcar que todos son mayores a 1, es decir, ocurrió la desestabilización de la emulsión para todas las experiencias realizadas. El mejor recubrimiento fue la pintura al frío paralelo a los electrodos (perpendicular al campo eléctrico), usando la estructura coalescedora con mayor luz de malla 0,3 cm x 0,3 cm, aplicando un voltaje de 0,7 kV y un tiempo de residencia de 2 min 45 seg: este comportamiento se debe a que este tipo de resinas, se caracteriza por poseer alto contenido de zinc como pigmento que actúan anódicamente sobre la superficie, en este caso el substrato metálico es sujeto a una protección catódica con el zinc como nodo de sacrificio y no por la formación de una película impermeable [7]. A continuación se presenta una figura con el incremento del tamaño de gota.

En ambas figuras se puede notar la diferencia en el incremento del tamaño de la gota evaluando el valor de la mediana de la distribución (D_{50}), la cual en la muestra original es de 86,84 μm y luego de aplicarle el campo eléctrico en presencia del medio coalescedor fue de 582,80 μm .

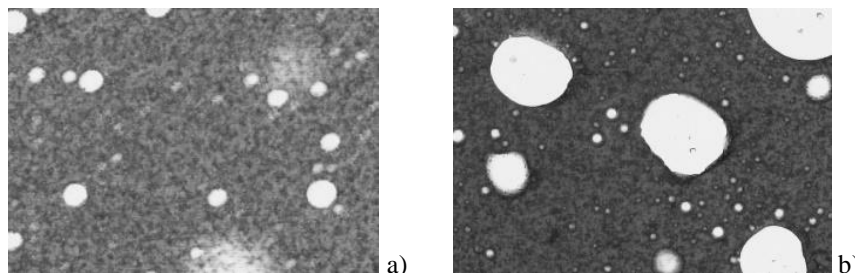


Figura 3. Emulsión W/O a) muestra inicial, b) luego de aplicarle campo eléctrico en presencia de la malla metálica de manera perpendicular al campo eléctrico con pintura al frío como recubrimiento

CONCLUSIONES

El campo eléctrico combinado con medio coalescedor paralelo a los electrodos (perpendicular al campo eléctrico) genera desestabilización en la emulsión estable W/O constituida por un crudo pesado, donde al estar recubierto con un medio coalescedor de la misma mojabilidad que la fase dispersa genera mayor desestabilización. Esta desestabilización también estará influenciada por el voltaje que se aplique a la muestra, siendo esta proporcional a la composición del recubrimiento que se esté evaluando.

REFERENCIAS

- [1] Marfisi, & Salager. (2004). *Deshidratación de crudo - Principios y tecnología*. Mérida: Laboratorio FIRP.
- [2] Quintero, I. (2012). *Separación electrostática con distintos tipos de corriente y medios coalescedores de emulsiones agua-crudo de fosas de producción ubicadas en el distrito San Tomé, Municipio Monagas en el Estado Anzoátegui*. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [3] Faergrestad, I. (2016). *Petróleo pesado*. Canadá: Schlumberger.
- [4] Salager, J. (1999). Cuaderno FIRP S747-B Modulo de Enseñanza en Fenomenos Interfaciales. I. R. *Laboratorio de Formulación*. Mérida.
- [5] Olmo, N. (2017). *Trabajo y Voltaje*. Georgia: HyperPhysics. Georgia State university.
- [6] Renouf, G., Kurucz, L., & Soveran, D. (2007). Produced Fluids Separation Using a Coalescer Column. *Journal of Canadian Petroleum Technology*.
- [7] Lanxess S.A. (02 de Febrero de 2008). *Resinas de poliuretano, siliconas y vinílicas*. Obtenido de Textos Científicos.com:
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/plasticos/sinteticos/resinas-poliuretano-siliconas-vinilicas>