

Electrostatic destabilization of W/O emulsions

María Alejandra Rodríguez^{1,2}; José Ángel Sorrentino²

¹Universidad Metropolitana, Venezuela, marodriquezded@unimet.edu.ve

²Universidad Central de Venezuela, Venezuela, jose.angel.sorrentino@gmail.com

Abstract– The design and use of an electric field application cell for phase separation of the W/O emulsion in the Acema-100 production pit is the interest of this research. To do this, the Acema-100 pit is characterized physicochemically (apparent density, apparent viscosity, water content, cumulative droplet distribution, conductivity of the aqueous phase), the effect on emulsion destabilization is evaluated, considering as variables of the electrostatic system: the type of current, the cell geometry, the residence time, the applied voltage, using the 2n experimental design, with the destabilization factor (FD) being the response variable. Likewise, a coalescing material is combined with the electric field, in order to evaluate the type of medium that favors the destabilization and coalescence process of the drops. The application of the 2n factorial experimental design identified the cell type as the most significant variable. In the study of the effect of the coalescing medium, the highest coalescence rates are obtained with a hydrophilic coalescing material. The study is aligned with SDG 9.

Keywords– W/O emulsion, crude oil dehydration, electrostatic separation, coalescence, coalescing medium.

Desestabilización electrostática de emulsiones W/O

María Alejandra Rodríguez^{1,2} ; José Ángel Sorrentino² 

¹Universidad Metropolitana, Venezuela, marodriguezded@unimet.edu.ve

²Universidad Central de Venezuela, Venezuela, jose.angel.sorrentino@gmail.com

Resumen– El diseño y empleo de una celda de aplicación de campo eléctrico para la separación de fases de la emulsión W/O en la fosa de producción Acema 100, es el interés de esta investigación. Para ello, se caracteriza fisicoquímicamente la fosa Acema-100 (densidad aparente, viscosidad aparente, contenido de agua, distribución acumulada de gotas, conductividad de la fase acuosa), se evalúa el efecto en la desestabilización de la emulsión, considerando como variables del sistema electrostático: el tipo de corriente, la geometría de celda, el tiempo de residencia, el voltaje aplicado, empleando el diseño experimental 2ⁿ, siendo el factor de desestabilización (FD) la variable de respuesta. De igual forma se combina un material coalescedor con el campo eléctrico, a fin de evaluar el tipo de medio que favorece el proceso de desestabilización y coalescencia de las gotas. La aplicación del diseño experimental factorial 2ⁿ identificó como variable más significativa el tipo de celda. En el estudio del efecto del medio coalescedor las mayores tasas de coalescencia se obtienen con un material coalescedor hidrofílico. El estudio está alineado al ODS 9.

Palabras clave– emulsión W/O, deshidratación de crudo, separación electrostática, coalescencia, medio coalescedor.

I. INTRODUCCIÓN

Las fosas petroleras son excavaciones de terreno con diseños deficientes que se utilizan para almacenar desechos peligrosos, los cuales se pueden filtrar al ambiente causando graves daños al ecosistema [1], lo que ha llevado a la búsqueda de tecnologías tanto para la recuperación del hidrocarburo emulsionado dentro de las fosas, como para su saneamiento. En Venezuela para el año 2008, se reportaron 12.367 fosas de hidrocarburos sin sanear, la mayoría ubicadas en el oriente (96%) del país; de estas, el 21% son fosas de producción con un área mayor a 2.000 m² (ver Fig. 1) y cuentan con volúmenes de hidrocarburos que pueden ser recuperados [2]. Para el año 2009, PDVSA indica el saneamiento de 526 fosas ubicadas en el oriente del país [3]; sin embargo, en la actualidad el número de fosas existentes sigue siendo importante.



Fig. 1 Fosa de producción Acema-100.

Las emulsiones, son dispersiones termodinámicamente inestables que pueden ser estabilizadas por la presencia de agentes tensoactivos absorbidos en la superficie de las gotas;

donde las emulsiones de agua en aceite (W/O) tienen agua como fase dispersa y aceite como fase continua [4]. Las emulsiones W/O de los crudos pesados y extrapesados (< 20° API), tienen a menudo entre 10-35% de agua [5].

Las emulsiones W/O se forman por el paso de la mezcla de crudo y agua por los equipos de producción en las instalaciones de superficie, ya que durante estos procesos la agitación dispersa el agua en el crudo, y es estabilizada por las especies de actividad interfacial presentes en la mezcla [6]. Entre los factores que contribuyen a la estabilidad de las emulsiones W/O se encuentran: agentes emulsionantes y propiedades interfaciales, viscosidad de la fase externa, diferencia de densidad y tamaño de la gota, relación de volumen entre las fases, temperatura, pH de la fase dispersa, composición de la salmuera, envejecimiento de la interfase y tipo de crudo [6].

Las técnicas aplicadas para el tratamiento de emulsiones W/O son diversas: térmica, mecánica, química y eléctrica [6]. En el tratamiento eléctrico, se aplica a la emulsión un campo eléctrico para promover la coalescencia de las gotas [4]. La electrocoalescencia es un proceso cuyo propósito principal es el de asistir al acercamiento, contacto y fusión de las gotas de agua dispersas en una fase continua de baja permitividad, con el fin de incrementar su tamaño, lo cual acelera su velocidad de sedimentación [7].

El proceso de electrocoalescencia depende de dos factores: (a) la fuerza atractiva entre dos gotas debida a su diferencia de potencial, y (b) la rotura dieléctrica de la película de fase continua entre dos gotas adyacentes [8]. En función a ello se propone implementar el principio de electrocoalescencia en el tratamiento del material de fosa, con el fin de establecer las condiciones que permitan la mayor recuperación de crudo sin la necesidad de la adición de química demulsificante. El entendimiento de los fenómenos eléctricos que intervienen y que promueven la separación es limitado, debido a la complejidad de las interacciones involucradas, más aún si se incluye un medio coalescedor en el sistema de tratamiento. Existen algunas evidencias de que puede producirse la separación de fases de la emulsión empleando una superficie hidrofílica o hidrofóbica, ya que las características relativas a la mojabilidad de la superficie pueden favorecer la coalescencia de las gotas de la fase dispersa [9,10].

Por lo tanto, se busca diseñar y emplear una celda continua de separación electrostática que permita la inclusión de medios coalescedores para evaluar tanto las variables del sistema electrostático como el efecto del medio coalescedor en el tratamiento de emulsiones W/O, inhibiendo el uso de agentes químicos para la deshidratación de hidrocarburo a fin de

disminuir el costo de operación asociado a la recuperación de la fase oleosa de las fosas de producción.

Se pretende analizar un proceso híbrido de separación de fases en emulsiones (agua/aceite), donde se emplee el proceso de separación electrostática como desestabilizante de las emulsiones W/O incorporando un medio coalescedor, el cual favorezca la coalescencia de la fase dispersa.

El diseño experimental factorial 2ⁿ es empleado para describir las etapas de: (a) identificación de los factores que pueden influir en el resultado de un experimento; (b) diseño del experimento de modo que se minimicen los efectos de los factores incontrolados; por lo que permite identificar qué factores son significativos con respecto a la variable de respuesta [11].

El Factor de desestabilización (FD), es un parámetro que busca cuantificar el efecto desestabilizador de cualquier tratamiento aplicado a una emulsión W/O. Relaciona la cantidad de gotas de un cierto tamaño luego del tratamiento con la cantidad de gotas de un cierto tamaño antes del tratamiento. Si este valor es igual a 1 no hay cambio en la cantidad de gotas del tamaño de referencia; si el valor es menor a 1, implica que disminuye el número de gotas del tamaño de referencia, siendo indicativo de estabilización de la emulsión; y si el valor es mayor a 1, el número de gotas aumenta para el tamaño de referencia lo que supone desestabilización de la emulsión [12].

El comprender el proceso de separación electrostática permitirá aplicarlos en la resolución de los problemas generados por las emulsiones W/O presentes no solo en las fosas de producción, sino en todos los procesos de la industria petrolera, donde sea de interés desestabilizar y romper emulsiones, desde la producción hasta la refinación.

En función a lo planteado, el objetivo del estudio es diseñar una celda continua de separación electrostática que permita la inclusión de medios coalescedores orientada a realizar el análisis del efecto desestabilizador de las variables del sistema y del medio coalescedor en el tratamiento electrostático de la emulsión W/O proveniente de la fosa de producción: Acema 100 ubicada en San Tomé, estado Anzoátegui, lo cual se alinea a lo planteado por el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

II. METODOLOGÍA

A. Caracterización fisicoquímica de la fosa de producción: Acema-100.

La muestra fue caracterizada en propiedades como densidad aparente (picnómetro), viscosidad aparente (viscosímetro de Brookfield), porcentaje de agua (ASTM D 4006), análisis SARA (desasfaltado – cromatógrafo TLC),

conductividad de la fase acuosa (conductímetro), y distribución del tamaño de gotas (microscopio óptico, Nikon Eclipse ME600).

B. Diseño del sistema para la aplicación del campo eléctrico en flujo continuo.

Se considera para el diseño del sistema: (a) flujo continuo por gravedad, (b) diferentes configuraciones para la aplicación del campo eléctrico (plana y cilíndrica), (c) igual separación entre los electrodos (0,8 cm), (d) electrodos de cobre, (e) material de construcción (tanque de almacenamiento – acero al carbono, celda - acrílico), (f) facilidad de calentamiento, (g) regulación de flujo (válvulas), (h) uso de una fuente de poder para proveer la diferencia de potencial, (i) sistema de calentamiento en el tanque de alimentación, (j) sistema de agitación en el tanque de alimentación.

C. Efecto desestabilizador de las variables del sistema electrostático.

Se aplicó el diseño factorial 2ⁿ considerando los factores y rangos indicados a continuación: A - tipo de celda (celda plana – celda cilíndrica); B - voltaje (300 – 600 V), C - tipo de corriente (corriente directa DC – corriente alterna AC) y D - tiempo de residencia (30 – 60 s). En el estudio se realizaron dieciséis (16) pruebas, las cuales se indican en la Tabla I. Se consideró como variable de respuesta el Factor de desestabilización (FD), determinado a partir de la distribución acumulada de gotas.

TABLA I
PRUEBAS ESTABLECIDAS POR EL DISEÑO EXPERIMENTAL 2ⁿ.

PRUEBA	A	B	C	D
	Tipo de celda	Voltaje (V).	Tipo de corriente.	Tiempo de residencia (s).
1	plana	300	DC	30
2	cilíndrica	300	DC	30
3	plana	600	DC	30
4	plana	300	AC	30
5	plana	300	DC	60
6	cilíndrica	600	DC	30
7	cilíndrica	300	AC	30
8	cilíndrica	300	DC	60
9	plana	600	AC	30
10	plana	600	DC	60
11	plana	300	AC	60
12	cilíndrica	600	AC	30
13	cilíndrica	600	DC	60
14	cilíndrica	300	AC	60
15	plana	600	AC	60
16	cilíndrica	600	AC	60

D. Efecto del medio coalescedor en combinación con el campo eléctrico.

Con el fin de estudiar el efecto de la mojabilidad del medio coalescedor en la separación electrostática, se dispuso del

sistema de tratamiento en continuo y se evaluaron materiales con distinta mojabilidad, (hidrofóbico e hidrofílico) en conjunto con el campo eléctrico a temperatura ambiente; los materiales empleados como medio coalescedor fueron: anillos de vidrio (hidrofílico) y esferas de polietileno (hidrofóbico). Se cuantificó la separación de fases en función al volumen de agua separado luego del tratamiento y en los casos donde no se apreció separación de fases, se empleó la técnica de microscopía óptica para determinar el FD.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Caracterización de la fosa de producción: Acema-100.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de la fosa Acema-100, se presenta en la Tabla II.

TABLA II
 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA FOSA ACEMA-100.

CARACTERIZACIÓN		ACEMA-100
Densidad aparente (g/ml) a 25°C		0,953
°API del crudo en la muestra de fosa		21,4
Viscosidad aparente (cP) a 33°C		5800
Contenido de agua (% v/v)		37,0
SARA (% p/p)	Saturados	42,35
	Aromáticos	18,46
	Resinas	27,88
	Asfaltenos	11,31
Concentración estimada de sal en el agua de las fosas (g NaCl/g agua)		0,0115
Mediana de la distribución acumulada del tamaño de gotas(μm)		21,5

Los valores reportados en la Tabla II, ubican a la fosa Acema-100 con características similares a las de un crudo pesado, con una densidad similar a la del agua, lo que dificulta su separación por decantación; un contenido de agua característico para los crudos pesados [5], una alta relación de asfaltenos y resinas, lo que le confiere estabilidad a la emulsión. Esta característica se confirma al contar con una mediana de la distribución del tamaño de gotas menor a 50 micras, por lo que la emulsión presente en la fosa Acema 100 se considera como estable.

B. Diseño del sistema de separación electrostática en continuo.

En función a los aspectos establecidos, se construyeron dos sistemas:

- 1) Sistema de celda plana.
- 2) Sistema de celda cilíndrica.

Estos constan de (ver Fig. 2.a): tanque de alimentación/calentamiento, agitador eléctrico, celda de aplicación del campo eléctrico (plana - cilíndrica, ver Fig. 2.b, 2.c), fuente de poder (DC) o transformador (AC) y válvulas para regular el flujo de entrada y salida a la celda.

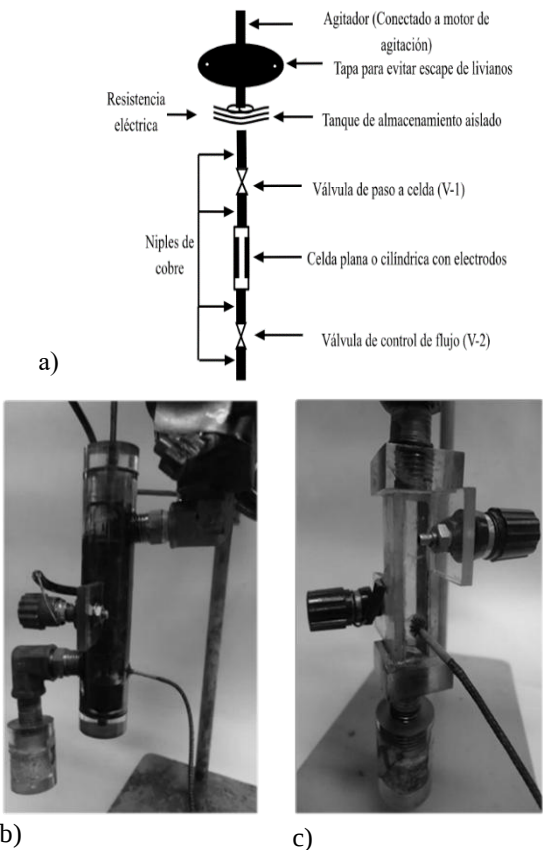


Fig. 2. Sistema continuo de separación electrostática. a) Esquema. b) Celda Cilíndrica. c) Celda Plana.

C. Efecto en la desestabilización de la emulsión W/O de las variables del sistema electrostático

Los resultados obtenidos del FD para las distintas combinaciones de variables en el diseño experimental, se presentan en la Fig. 3.

En general, se observan efectos desestabilizadores importantes ($FD > 1$), donde se incrementa el tamaño de las gotas por encima del doble para algunas de las combinaciones de variables consideradas. Se aprecia (Fig. 3), que la mayor desestabilización se obtiene para la combinación de celda plana, voltaje alto y tiempo de residencia bajo, independientemente del tipo de corriente aplicada (Prueba 3 y Prueba 9).

Se fijó una significancia del 1% (intervalo de confianza del 99%) para tener mayor confiabilidad de los resultados.

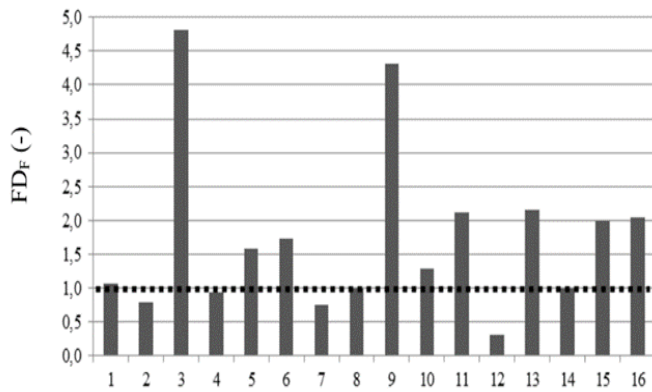


Fig. 3. Factor de desestabilización para las pruebas del diseño experimental 2^a.

En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos en el análisis estadístico del FD, resalta como efecto principal tipo de celda; en la interacción de dos factores, el tipo de celda y el tipo de corriente resultó significativa; en cuanto a la interacción de tres factores, el voltaje, el tipo de corriente y el tiempo de residencia se obtuvo como la de mayor relevancia.

TABLA III

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LOS EFECTOS SEGÚN EL DISEÑO FACTORIAL 2^N.

Origen de variación	Grado de libertad	F	Confiabilidad
Efecto principal			
A	2	14,15	99,96
Interacción de dos factores			
AC	2	6,43	99,04
Interacción de tres factores			
BCD	2	21,17	100,00

El resultado del efecto principal se puede verificar al comparar los distintos tipos de celda bajo las mismas condiciones (voltaje alto, corriente DC, tiempo de residencia bajo), donde la celda plana (FD = 4,8) triplica el valor del FD alcanzado respecto al logrado con la celda cilíndrica (FD = 1,7).

Dado que el análisis estadístico de las variables arroja como resultado que la principal variable que afectan el FD es el tipo de celda, se analizó el efecto del resto de las variables (voltaje, tipo de corriente y tiempo de residencia) en función de esta variable (ver Fig. 4), considerando los promedios de las réplicas realizadas en cada prueba, representados con su error y señalando la tendencia lineal que tienen los puntos promedios para cada condición.

Es apreciable en los gráficos de la Fig. 4, que la celda plana es más eficiente en relación con el FD, independientemente del tipo de voltaje (Fig. 4.a), tipo de corriente (Fig. 4.b) y tiempo de residencia (Fig. 4.c); esto indica que las fuerzas electroforéticas propias del campo eléctrico uniforme son más efectivas para la fosa con tamaños de gotas mayores a $D_{50} = 20 \mu\text{m}$, como es el caso de Acema-100.

Evaluando la influencia del resto de las variables, es posible observar, que el voltaje alto favorece el FD, en los dos tipos de celda, siendo mayor el efecto en la celda plana. En cuanto al tipo de corriente, el FD para la celda plana no se ve afectado por esta variable, mientras que, para la celda cilíndrica incrementa el FDF al trabajar con corriente DC.

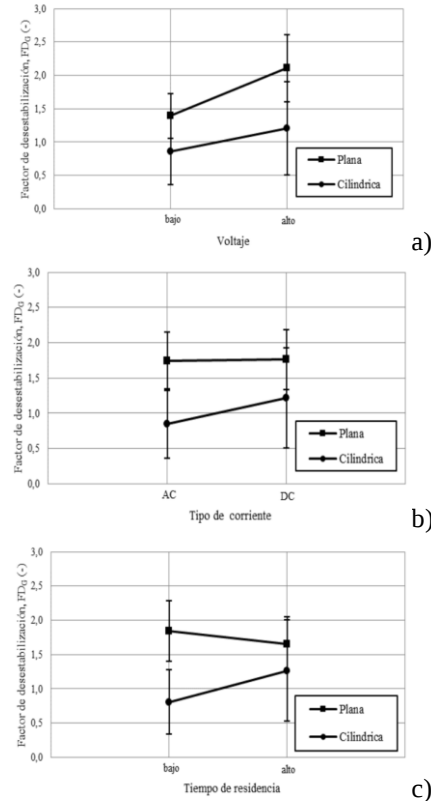
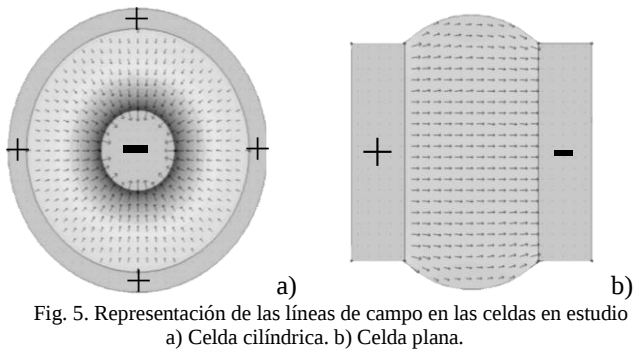


Fig. 4. Efecto de la geometría de la celda en el FD en función de a) Voltaje. b) Tipo de corriente. c) Tiempo de residencia.

Respecto al tiempo de residencia, el valor bajo (30 s) en la celda plana favorece el incremento del FD, mientras que el tiempo de residencia alto (60 s) en la celda cilíndrica genera el mismo efecto; sin embargo, sigue siendo con la celda plana con la que se obtienen los mejores valores para el FD.

En la Fig. 5 se representan las líneas de campo en la sección transversal de la celda cilíndrica (Fig. 5.a) y la sección longitudinal de la celda plana (Fig. 5.b). En el caso de la celda plana, se incluyó en la imagen una sección adicional por encima y por debajo de la celda con el fin de ver el efecto del campo eléctrico en los extremos (Femm 4.2). Mientras más oscuro es el color entre los electrodos significa que el campo eléctrico es más intenso. Existe un gradiente de campo eléctrico para la celda cilíndrica que aumenta en las cercanías del electrodo central (negativo); en cambio, para la celda plana, el campo eléctrico es uniforme a excepción de los extremos en donde se forma una distorsión del campo.

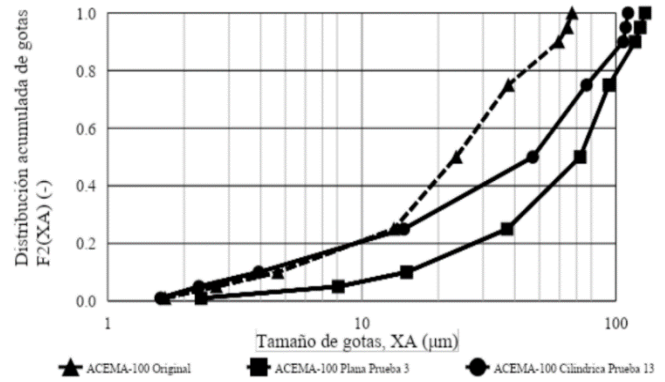


Un gradiente en el campo eléctrico beneficia el proceso de colisión entre las gotas y por lo tanto la coalescencia, ya que en este caso actúan las fuerzas dielectroforéticas además de las electroforéticas. Es importante recordar que las fuerzas dielectroforéticas no dependen de la carga que tienen las gotas ni de la distancia entre las mismas, a diferencia de las fuerzas electroforéticas que necesitan que la gota adquiera una carga, para generar su movilidad dentro de la emulsión y además depende de la distancia entre las gotas. Al poseer los dos tipos de fuerzas interactuando bajo un mismo campo, se fomenta la coalescencia de las gotas por colisiones.

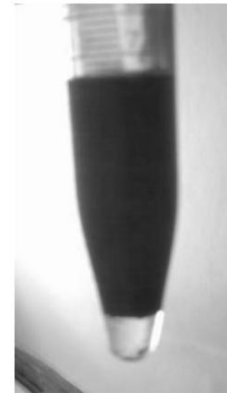
En el caso de la celda plana solo se presentan fuerzas electroforéticas debido a la uniformidad del campo, a excepción de los extremos superior e inferior en donde existen fuerzas dielectroforéticas por la distorsión del campo. Para efectos prácticos, en la celda plana también se presentan efectos dielectroforéticos en la zona del campo uniforme, debido a que las gotas cargadas generan una distorsión del campo, pero esta distorsión del campo genera un gradiente de campo eléctrico poco pronunciado a diferencia del gradiente generado en la celda cilíndrica. De igual manera en la celda cilíndrica también se presenta la distorsión del campo generado por las gotas cargadas.

Lo mencionado anteriormente está descrito para el tipo de corriente DC, pero también aplica para corriente AC. Se diferencian en que la corriente alterna cambia la polaridad de los electrodos a una frecuencia de 60 Hz, por lo cual la dirección del campo eléctrico cambia conforme a esta frecuencia, mientras que en la corriente directa los electrodos mantienen constante su polaridad.

Se realizó una comparación de las combinaciones con mejor resultado en celda plana (Prueba 3) y celda cilíndrica (Prueba 13) respecto a la muestra original, para evaluar el cambio en la distribución acumulada de gotas. En la Fig. 6 se observa que, tanto la celda plana como la celda cilíndrica logran desestabilizar o incrementar el tamaño de las gotas de la muestra de fosa, siendo más efectiva la celda plana; para todos los tamaños de gotas, mientras que la celda cilíndrica logra la desestabilización de las gotas cuando son mayores a 15 μm .



Se aplicó centrifugación a las muestras de las pruebas para acelerar el proceso de separación de fases, objetivo final de la desestabilización de la emulsión, y se evidenció la separación de fases (agua-crudo), tal como se aprecia en la Fig. 7.



La separación de fases alcanzada fue posible gracias a la desestabilización de la emulsión por el campo eléctrico, limitada por la viscosidad de la fosa Acema-100 a temperatura ambiente. Se calculó el porcentaje de agua recuperada, en las pruebas que presentaron separación significativa de fases con la aplicación de campo eléctrico y centrifugación: Pruebas 3 (26%) y Prueba 15 (12%). Se evidencia que, la celda plana en combinación con un alto voltaje es más eficiente para la desestabilización y posterior separación de fases.

En cuanto al tipo de corriente se observa que con DC el porcentaje de agua recuperada es mayor que con AC (14% mayor) para un tiempo de residencia bajo, por lo que una menor exposición de la muestra al campo eléctrico DC logra que este pueda interactuar con las gotas de agua y hacer que aumenten su tamaño para que luego la fuerza centrífuga permita su separación. Por otra parte, si el campo eléctrico es AC, se requiere de un mayor tiempo de exposición ante el campo

eléctrico para generar un efecto desestabilizador sobre la muestra tratada.

En resumen, la fosa de producción Acema 100 pueden ser desestabilizada de manera efectiva, sin el empleo de demulsificantes, por una celda plana, corriente DC/AC, voltaje alto (600 V) y tiempo de residencia bajo (30 s).

D. Efecto del medio coalescedor en combinación con el campo eléctrico.

Se estudio el efecto de incluir un medio coalescedor en el sistema de tratamiento con campo eléctrico. Para ello se empleó el sistema en continuo con la celda plana con la inclusión del medio coalescedor (hidrofílico o hidrofóbico) dentro de la celda, como se observa en la Fig. 8.



Fig. 8. Celda plana con medio coalescedor.

Se estimo la porosidad de los medios coalescedores, siendo 0,52 para las esferas de polietileno y 0,84 para los anillos de vidrio. Se aplicó corriente DC y AC, con y sin la inclusión de un medio coalescedor en la celda de tratamiento, sometiendo posteriormente las muestras a un proceso de centrifugación. En la Fig. 9, se presentan el porcentaje de agua recuperada con aplicación de campo DC, y aplicando campo DC más centrifugación, empleando los medios coalescedores en estudio a una baja velocidad de flujo.

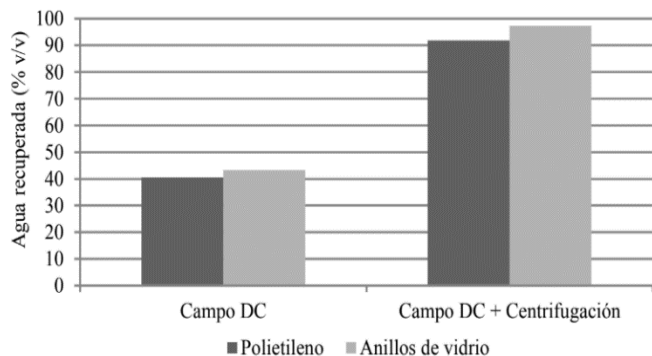


Fig. 9. Porcentaje de agua recuperada para Acema-100, corriente DC, con y sin medio coalescedor a baja velocidad de flujo.

Es apreciable que la cantidad de agua recuperada luego de someter las muestras a un proceso de centrifugación es, aproximadamente 50% mayor que a la cantidad de agua recuperada obtenida solo aplicando el CE en conjunto con el medio coalescedor. El grado de ruptura de la emulsión luego de aplicado el CE es dependiente de la fuerza centrífuga aplicada y de la estabilidad de la emulsión, por lo que si la emulsión ha sido desestabilizada previamente, más eficiente y notable será el efecto centrífugo. También se observa, que la cantidad de agua recuperada varía en función del medio coalescedor utilizado, siendo más eficiente para el medio hidrofílico (97%) que para el hidrofóbico (92%).

Como referencia se sometió una muestra de fosa sin tratamiento electrostático a centrifugación y no se observó separación de fases. Esto sugiere que la centrifugación, aún cuando no tiene un efecto desestabilizador, promueve la coalescencia de gotas grandes no coalescidas durante el tratamiento eléctrico de la emulsión W/O.

Durante el tratamiento electrostático, parte del agua emulsionada flocula, coalesce, y escurre a través del medio coalescedor depositándose en el fondo del tubo de recolección de muestra, observándose esto desde el momento en que la emulsión empieza a fluir a través de la celda. El escurrimiento de agua no es visible luego que la fosa inunda la celda de tratamiento eléctrico; sin embargo, es posible que el fenómeno continúe presentándose. Lo anterior, puede dar origen a la formación de gotas grandes las cuales logran coalescer una vez que son sometidas las muestras a centrifugación; mientras que las gotas pequeñas no logran coalescer; esto da origen a una distribución de fases en la muestra: crudo-emulsión-agua libre.

Con este tratamiento (CE y centrifugación) no es posible remover la totalidad del agua emulsionada, ya que las pruebas realizadas a distintos tiempos de residencia sugieren que, para lograr mayor separación de fases, se debe aumentar la temperatura de la emulsión para disminuir la viscosidad del crudo.

La presencia de un medio coalescedor en la celda representa una restricción al flujo, por lo que la caída de presión de la emulsión a lo largo del sistema es mayor. Esta caída de presión en el sistema afecta principalmente el tiempo de residencia de la emulsión lo cual repercute directamente en la cantidad de agua recuperada.

Al comparar el agua recuperada al emplear los medios coalescedores: anillos de vidrio y esferas de polietileno en combinación con CE y centrifugación, se observa una diferencia en la calidad de agua recuperada, tal como se aprecia en la Fig. 10. En esta figura se observa que el agua recuperada cuando se emplean esferas de polietileno presenta una coloración turbia, mientras que al utilizar anillos de vidrio el agua separada es transparente; esto se atribuye a la diferencia

en el área de contacto y a las interacciones con el tipo de material empleado.

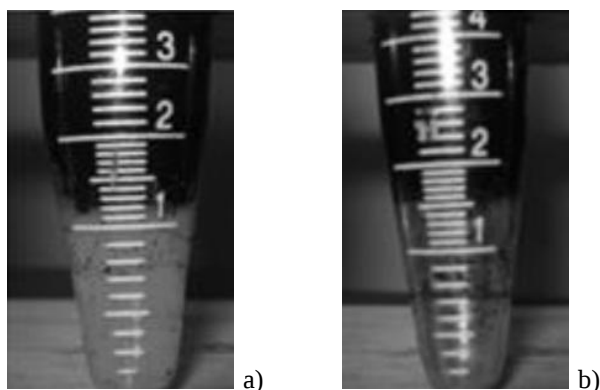


Fig. 10. Calidad del agua recuperada empleando distintos medios coalescedores. a) Esferas de polietileno, b) Anillos de vidrio.

Al realizar las pruebas con corriente AC, la cantidad de agua recuperada para estos tratamientos disminuyó significativamente, resultando muy deficiente en comparación con los resultados obtenidos al aplicar corriente DC.

La mojabilidad del medio coalescedor afecta la desestabilización de la emulsión bajo la influencia de un campo eléctrico; debido a que los agentes emulsionantes naturales (asfaltenos y resinas) satisfacen su condición de mínima energía cuando se alojan en la interfase (agua-crudo) ya que estabilizan su parte polar y apolar, y cuando la emulsión es sometida al CE, una parte de estos agentes emulsionantes dejan la interfase de la gota y se adsorben sobre la superficie del medio coalescedor satisfaciendo su condición de mínima energía, desestabilizando la gota donde se encontraba. La migración de estas gotas menos estables, producto del dipolo inducido por el campo eléctrico, permite que una vez colisionen ocurra la coalescencia.

Sin embargo, la capacidad de adsorción del medio coalescedor es finita, ya que se observó que luego de un tiempo de tratamiento no fue posible recuperar agua, a consecuencia de la saturación del medio coalescedor por los emulsionantes naturales. Ahora bien, la adsorción de estos agentes emulsionantes en la superficie del medio coalescedor depende de la mojabilidad del material, de su área superficial y de las características de la emulsión.

En el caso en estudio, el S.A.R.A. de la fosa Acema 100, determinó que la fracción de resinas más asfaltenos alcanza un porcentaje de 39,2% p/p. En parte estas dos fracciones son responsables de la estabilidad de la emulsión, y en la fosa Acema 100 se encuentran en una cantidad importante, por lo que se infiere que las resinas interaccionan con las moléculas de asfaltenos, formando estructuras con un balance hidrofílico-lipofílico intermedio, haciendo que la adsorción de estas estructuras sobre un medio hidrofílico o hidrofóbico tenga un

efecto desestabilizador similar y en consecuencia se obtenga, un alto porcentaje de recuperación cuando se emplea un medio hidrofílico (anillos de vidrio), o hidrofóbico (esferas de polietileno).

Cuando se aplica corriente DC, se induce un momento dipolar y una eventual migración de las gotas en la dirección de mayor intensidad de campo. El medio coalescedor produce una distorsión de las líneas de flujo de campo eléctrico debido a la disposición aleatoria del medio coalescedor en la celda y su característica dieléctrica. Esto asegura la no uniformidad del campo eléctrico lo cual puede mejorar el proceso de coalescencia. Un campo eléctrico no uniforme obliga a que las gotas sigan trayectorias irregulares a lo largo del sistema aumentando la probabilidad de las colisiones inter-gotas y por ende la coalescencia.

El contenido de agua total en la emulsión juega también un papel fundamental en la separación de fases, ya que una mayor cantidad de agua sugiere que las gotas están más cerca una de otras, aumentando el número de choques a consecuencia de la migración de las gotas, lo que se traduce en una mayor coalescencia y por ende en una recuperación más eficiente de la fase acuosa. Tal es el caso de la fosa Acema-100 la cual presenta un contenido de agua alto (37% v/v).

La migración de las gotas es afectada por la conductividad del agua emulsionada, debido a que los iones disueltos presentes en el agua pueden inducir la formación de grandes momentos dipolares en las gotas, ocasionando un incremento en la velocidad con la cual las gotas migraran a lo largo del sistema. Para Acema-100 la conductividad del agua es igual a 19,09 mS/cm, lo cual sugiere que la conductividad es en parte responsable de la recuperación alcanzada.

IV. CONCLUSIONES

Con el diseño y construcción de la celda de aplicación de campo eléctrico en continuo, fue posible mejorar la separación de fases de una emulsión W/O, con las características de la fosa Acema 100, al combinar un medio coalescedor con campo eléctrico, sin la aplicación de química demulsificante. La efectividad del proceso depende de las propiedades fisicoquímicas de la emulsión como, viscosidad, contenido de agua, distribución acumulada de gotas, contenido de asfaltenos y resinas, contenido de sal en el agua. Para un sistema de tratamiento en continuo, la aplicación de campo eléctrico homogéneo de corriente directa, empleando altos voltajes por un tiempo de residencia corto, tiende a ser el más efectivo en la coalescencia de gotas.

AGRADECIMIENTO

El Desarrollo de este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela y del Instituto de Estudios Avanzados.

REFERENCIAS

- [1] Díaz-Borrego, L., Briceño, B., Mora, R., Vera, A., Rosales, N., González, L., Marín, J., Aiello-Mazzarri, C., & Morales, E. (2019). “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de una fosa petrolera del estado Zulia, Venezuela”. *Ciencia*, 27(1-2), 5-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5592942>
- [2] Naranjo, L. (2008). “Manejo integral de fosas de hidrocarburos generadas por la actividad petrolera venezolana”
- [3] PDVSA Informe anual (2009)
- [4] Salager J. (1990). “The fundamental basis for the action of chemical dehydrant. Influence of the physical and chemical formulation on the stability of an emulsion”. *International Chemical Engineering*. Volumen 30, pp. 103-116.
- [5] Schramm L. (1992). *Emulsions: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry*. 1th ed. Washington, D.C. American Chemical Society Books
- [6] Marfisi, S., y Salager, J. L. (2004). “Deshidratación de crudo Principios y Tecnología”. Universidad de los Andes, Caracas, Venezuela.
- [7] Less S., Hannisdal A., Bjørklund E., Sjöblom J. (2008). “Electrostatic destabilization of water-in-crude oil emulsions: Application to a real case and evaluation of the Aibel VIEC technology”. *Elsiever. Fuel*. N° 87. pp. 2572-2581
- [8] Sunil L., Kokal Saudi Aramco (2006). *Petroleum Engineering Handbook—Vol. I. Crude Oil Emulsions*. 3rd ed. Richardson, Texas. Cap 12. pp. I-536.
- [9] Morales C. (2009). “Formulación, Caracterización y Desestabilización de emulsiones agua-aceite”. Tesis Doctoral. Universidad de Cottbus. Alemania
- [10] Renouf G., Kurucz L., y Soveran D. (2006). (2006). “Produced fluids separation using a coalescer column”. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, N° 65. pp. 23-30.
- [11] Montgomery D. (2004) “Design and analysis of experiments”. 1th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Rodríguez M., Goncalves F., Sorrentino J. (2024) “Emulsiones W/O: Factor de desestabilización” 2ISBN: 978-628-95207-8-1. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1838.