

## EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA SALINIDAD DE LA FASE DISPERSA EN EMULSIONES W/O EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDO

Armando Martínez<sup>1\*</sup>, María Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PDVSA Campo Morichal

<sup>2</sup>Laboratorio de Separaciones Mecánicas. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Central de Venezuela

\* [afmsimancas@gmail.com](mailto:afmsimancas@gmail.com)

### RESUMEN

El presente estudio evaluó el impacto de la salinidad en una emulsión W/O, en dos procesos de deshidratación. De acuerdo a la ley de Stokes la fuerza neta de gravedad que actúa en una gota es directamente proporcional a la diferencia en densidades entre la gota (fase acuosa) y la fase continua (crudo). La conductividad es un índice que indica el flujo de electricidad en el agua, por lo que cuando hay más cantidad de iones disueltos (como Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>), mayor es su conductividad. En función a esto, se plantea el estudio cuantitativo con diseño experimental 2<sup>3</sup> con un intervalo de confianza de 99%, del efecto en el proceso de deshidratación de emulsiones W/O del crudo Merey 16, aplicando tanto un tratamiento en continuo de campo eléctrico (DC) donde se miden los efectos de los factores: concentración de sal, porcentaje de agua y voltaje aplicado; como un método con química demulsificante a través de una prueba de botella típica donde se miden los efectos de los factores: concentración de sal, porcentaje de agua y dosificación de química. En el caso de deshidratación electrostática y partiendo de la distribución acumulada de gotas se calculó el Factor de Desestabilización (FD<sub>F</sub>), el cual representa el cambio en fracción de gotas mayores a 20µm. Se observa interacción de dos factores siendo la mayor la Salinidad-Voltaje, seguido del % Agua-Voltaje; como efecto principal se identifica la Salinidad, donde para porcentajes de agua 10% al aplicar voltajes bajos, origina un incremento del tamaño de gotas; mientras que para 20% de agua el FD<sub>F</sub> se favorece con concentraciones bajas y voltajes altos, mientras que para % de agua altos el efecto del voltaje e incrementos de concentraciones de sal desfavorecen el incremento de tamaño de gotas. El efecto principal en el método químico - demulsificante fue la dosificación de química seguido de la concentración de sal. No existe interacción entre los factores de concentración de sal, porcentaje de agua y dosificación de química en los niveles estudiados ya que no hay efecto contrario cuando se mueve la variable dentro de los rangos bajo y alto establecidos.

*Palabras Clave: Emulsión W/O, Salinidad, Conductividad, Química demulsificante, Voltaje.*

### ABSTRACT

The present study evaluated the impact of salinity in a W / O emulsion, in two dehydration processes. According to the Stokes law the net force of gravity that acts on a drop is directly proportional to the difference in densities between the drop (aqueous phase) and the continuous (crude) phase. Conductivity is an index that indicates the flow of electricity in water, so when there are more dissolved ions (such as Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>), the greater its conductivity. Based on this, the

quantitative study with experimental design  $2^3$  with a confidence interval of 99%, of the effect in the dehydration process of W / O emulsions of the Merey 16 crude, is proposed, applying both a continuous electric field treatment ( DC) where the effects of the factors are measured: salt concentration, percentage of water and applied voltage; as a method with chemical demulsifier through a typical bottle test where the effects of the factors are measured: salt concentration, water percentage and chemical dosage. In the case of electrostatic dehydration and starting from the accumulated distribution of drops, the destabilization factor (FDF) was calculated, which represents the change in fraction of drops greater than  $20\mu\text{m}$ . The interaction of two factors is observed, the highest being the Salinity-Voltage, followed by the % Water-Voltage; as the main effect, Salinity is identified, where for 10% water percentages when low voltages are applied, it causes an increase in the size of drops; while for 20% of water the FDF is favored with low concentrations and high voltages, while for high water% the effect of the voltage and increases of salt concentrations disfavor the increment of droplet size. The main effect in the chemical - demulsifier method was the dosage of chemistry followed by the concentration of salt. There is no interaction between the factors of salt concentration, percentage of water and chemical dosage in the studied levels since there is no opposite effect when the variable moves within the established low and high ranges.

*Keywords: Emulsion W / O, Salinity, Conductivity, Chemical demulsifier, Voltage.*

## INTRODUCCIÓN

La eliminación del agua contenida en las corrientes de crudo se logra a través de los procesos de deshidratación y desalación, los cuales operan bajo el mismo principio, romper la emulsión agua en crudo mediante la aplicación de la Ley de Stokes. La deshidratación, como su nombre lo indica, consiste en separar o extraer el agua del crudo mediante diversos métodos que promuevan la ruptura de la emulsión agua en crudo (W/O); en cambio, el proceso de desalación consiste en la adición de agua al crudo para promover la disolución de las sales suspendidas, originándose una nueva emulsión, lo que conlleva a la aplicación de métodos de deshidratación como métodos químicos, mecánicos, eléctricos o combinación de ellos.

Una planta Deshidratadora/Desaladora no escapa de los cambios en las condiciones o características de entrada del fluido tratado en vista del incremento del agua producida por los yacimientos asociados a los pozos productores y las concentraciones de sal de los mismos, razón por la cual alcanzar las especificaciones de calidad establecidas llevan a la necesidad del incremento de química demulsificante y requerimiento térmico observándose en muchos casos producto fuera de especificación.

Por lo anterior, el siguiente trabajo tiene como finalidad evaluar el impacto de la salinidad en los métodos de deshidratación de crudo, específicamente con una prueba de botella de agente desmulsificante y campo eléctrico en continuo con corriente DC, en aras de evaluar la salinidad del agua de formación como agente promotor en la deshidratación de crudos pesados.

## METODOLOGÍA

### 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>

Se estudió el efecto de la concentración de sales y porcentaje de agua del crudo Merey 16, formulado a partir de un crudo extrapesado (~ 8°API) y diluyente (~ 32°API), en el proceso de deshidratación aplicando campo eléctrico (DC) en un sistema continuo y química desmulsificante a través de una prueba de botella típica. La investigación se desarrolló en varias etapas, las cuales de manera general se presentan a continuación en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema general de la metodología a emplear.

Las emulsiones fueron formuladas fijando condiciones de calentamiento y agitación controladas con un agitador tipo hélice a una velocidad de 500 rpm en un baño térmico a 60°C. Para determinar la distribución del tamaño de gotas de agua en la muestra, se empleó la metodología propuesta por Fung (2011)[1]. Ésta permite describir la geometría de una dispersión a través de análisis estadísticos del conjunto de partículas. Las propiedades de tales sistemas comúnmente caen dentro de la clase que pertenece a la partícula individual, en donde se encuentra el tamaño y forma de la partícula, su volumen y su área superficial [2].

En la prueba de botella los factores estudiados fueron: salinidad, % Agua y dosificación de química, para el método electrostático se cambió la dosificación de química por la variación del voltaje, variando los mismos dentro de un nivel alto y bajo como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Factores y dominio experimental método químico (Elaboración propia).

Factores	Dominio Experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
Salinidad (ppm)	10.000	40.000
Agua (%)	10	20
Dosificación (ppm)	100	300
Voltaje (V)	400	800

Para el método químico-demulsificante se realizaron ocho (8) pruebas manteniendo las muestras sumergidas en el baño térmico en un rango de tiempo entre 180-240 minutos, finalizado el tiempo se tomó lectura del porcentaje de agua separada, incluyendo lectura cada 30 minutos.

El campo eléctrico se aplicó a un voltaje de corriente directa a través de una fuente de poder ajustable entre 0 y 10KV de corriente directa 2,5 mA, sobre un dispositivo para prueba en continuo con celdas planas y control de flujo para garantizar el tiempo de residencia fabricado en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas (LSM) de la Escuela de Ingeniería Química de la UCV como se muestra en la figura 2. En total se realizaron ocho (8) pruebas manteniendo un tiempo de residencia en la celda, una vez cumplido el tiempo de residencia se tomaron tres (3) muestras de 5ml c/u para observación en el microscopio y análisis de distribución acumulada de gotas.



**Figura 2.** Sistema de prueba en continuo con celdas planas.

Partiendo de la distribución acumulada de gotas de las muestras iniciales se calculó y registró el Factor de Desestabilización propuesto por Fung (2011) de acuerdo a la Ecuación 1[1].

Donde:

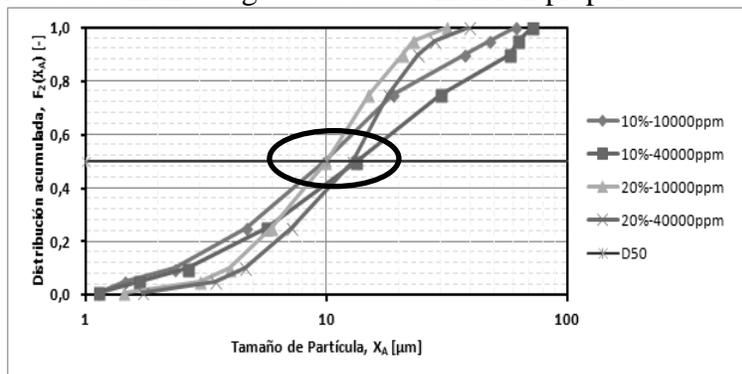
$$FD_f = \frac{\Phi W(XA) [\%]}{\Phi W^0(XA) [\%]} \quad (Ec. 1)$$

$FD_f$ : Factor de desestabilización usado en el trabajo de Fung (2011) (adim).  
 $\Phi W(XA) [\%]$ : Porcentaje de agua en gotas con diámetro mayor a  $XA$  después de aplicar campo eléctrico  
 $\Phi W^0(XA) [\%]$ : Porcentaje de agua en gotas con diámetro mayor a  $XA$  sin aplicar campo eléctrico

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para garantizar la estabilidad de la emulsión preparada se sometió cada muestra a un proceso de separación mecánica, las pruebas se realizaron manteniendo la velocidad en la centrifuga en 1500 rpm por un tiempo de 20 minutos, una vez finalizado el tiempo de centrifugación se tomó lectura del porcentaje de agua libre y el porcentaje de emulsión observada.

Cuando la concentración de sal se encontró en el umbral bajo (10.000ppm) se mantuvo el comportamiento de baja separación con el método mecánico de centrifugación obteniendo un 10,6% de emulsión para 10% de agua y 16,0% de emulsión para 20% de agua, mientras que a mayor salinidad se observó un porcentaje de emulsión mayor en ambos casos de porcentaje de agua, a pesar que se observan mayores emulsiones en concentraciones de sal altas existe agua atrapada que no ha sido separada, evidenciándose que el porcentaje de agua final en ambas concentraciones resulto el mismo para cada rango de concentración. En la figura 3 se presentan la distribución acumulada de tamaño de gotas de cada emulsión preparada.



**Figura 3.** Distribución acumulada de gotas emulsiones W/O.

La mediana de la distribución acumulada  $D_{50}$  de las emulsiones preparadas se encuentra entre  $9,7 \mu\text{m}$  cuando la concentración de sal es de  $10.000 \text{ ppm}$  y  $13,01 \mu\text{m}$  cuando la concentración de sal es de  $40.000 \text{ ppm}$ . Por otro lado, se destaca que a mayor contenido de agua la preferencia de formación de gotas es de menor diámetro, indistintamente del porcentaje de agua se observó mayor diámetro de una gota a concentraciones altas de sal.

En la figura 4 se observan los promedios de las 8 pruebas de botella en el método químico-demulsificante y se evidencia que a mayor salinidad en el agua de la emulsión mejora el porcentaje de agua separada para el límite de tiempo establecido independientemente de la dosificación de química, destacando que a mayor química aumenta la cantidad de agua separada.

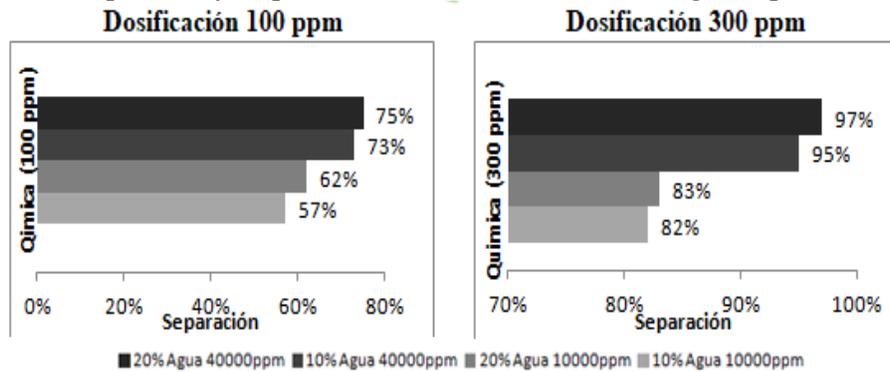


Figura 4. Promedio de agua separada en prueba de botellas.

En la figura 5 se muestra la gráfica de los efectos principales y su interacción para la respuesta de porcentaje de agua separada, se destaca como efecto principal la dosificación de química seguido de la salinidad. En la interacción de dos factores se observa que no existe interacción entre los factores en los niveles estudiados, ya que no hay efecto contrario cuando se mueve la variable dentro de los rangos bajo y alto establecidos.

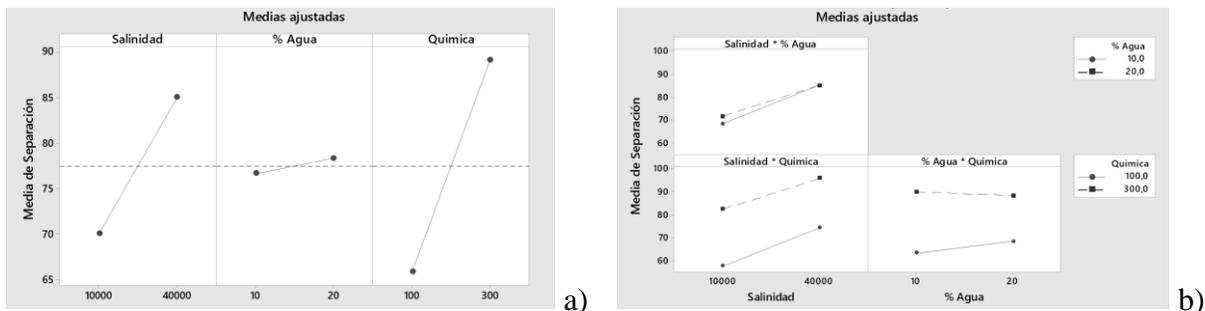
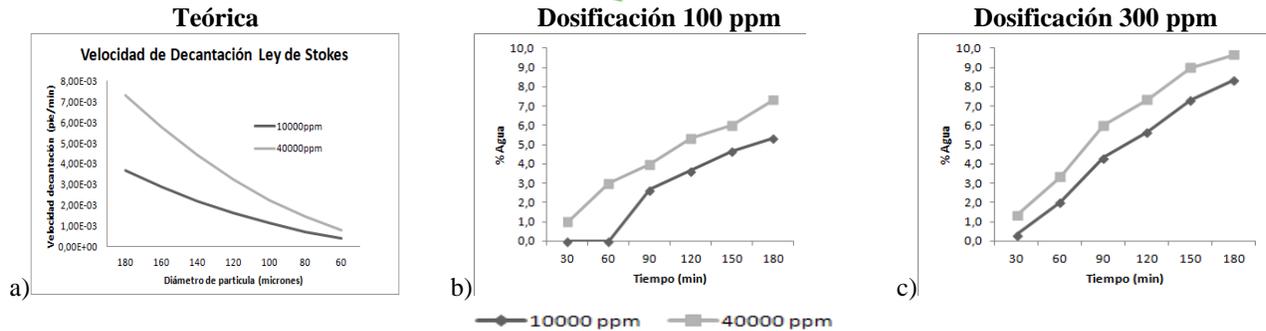


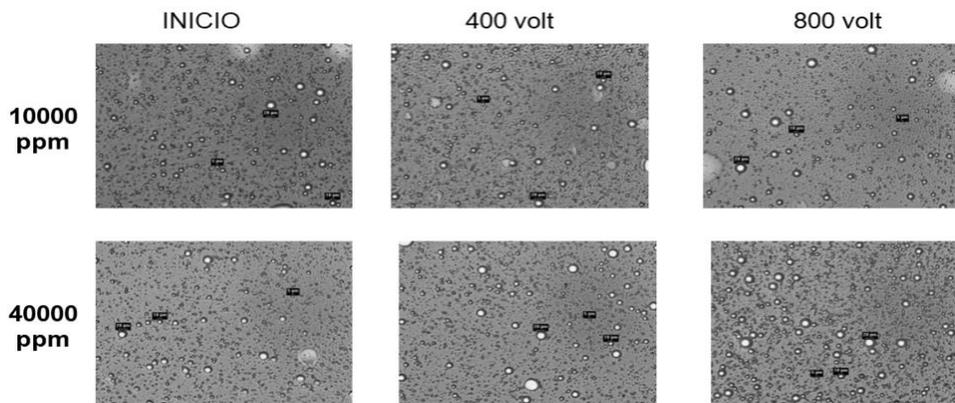
Figura 5. a) Gráfica de efectos principales. b) Grafica de interacción

En la figura 6.a se grafica la velocidad de decantación teórica de acuerdo a la ley de Stokes, la gota con mayor concentración decantará un 50% más rápido que la de menor concentración. En el caso de la emulsión W/O con 10% de agua bajo distintas concentraciones de sal y comparando el porcentaje de agua separada cada 30 minutos en la figura 6.b y c, se muestra el comportamiento donde se asemeja el efecto teórico. A nivel de la experiencia se observó en promedio 43% más rapidez en la separación cuando la concentración de sal era mayor.



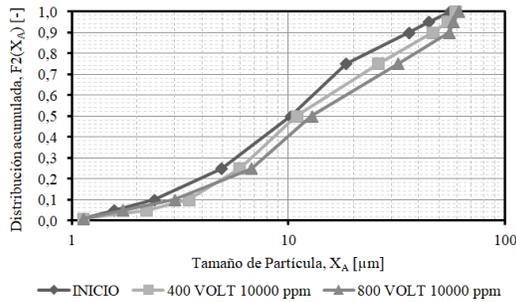
**Figura 6.** a) Velocidad de decantación Ley de Stokes para diferentes concentraciones de sal. b y c) Tiempo de separación prueba de botella emulsión W/O con 10% de Agua.

Luego de aplicar campo eléctrico DC a la muestra con un voltaje de 400 V y 800 V, se realizó la toma de imágenes con el microscopio. En la figura 7 se muestra el cambio producido sobre la muestra con un 10% de Agua y concentraciones de sal de 10.000 ppm y 40.000 ppm. Se observa la tendencia de aumento de presencia de gotas a medida que aumenta el voltaje y la salinidad; sin embargo, el resultado final debe ser analizado con el gráfico de distribución acumulada de gotas.

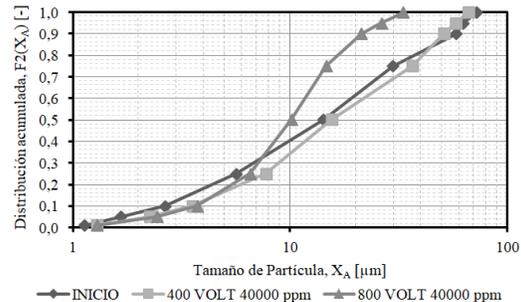


**Figura 7.** Emulsiones W/O 10% Agua luego de aplicar campo eléctrico DC

En la figura 8.a se observa un ligero desplazamiento a la derecha de la curva de distribución respecto a la original (Inicio) al variar el voltaje y mantener la concentración de sal, en el caso 8.b se observa que el incremento en la concentración de sal y voltaje alto (800 V) la curva de distribución se desplaza a la izquierda por lo que aumenta la cantidad de gotas de menor diámetro siendo desfavorable para un proceso de deshidratación.



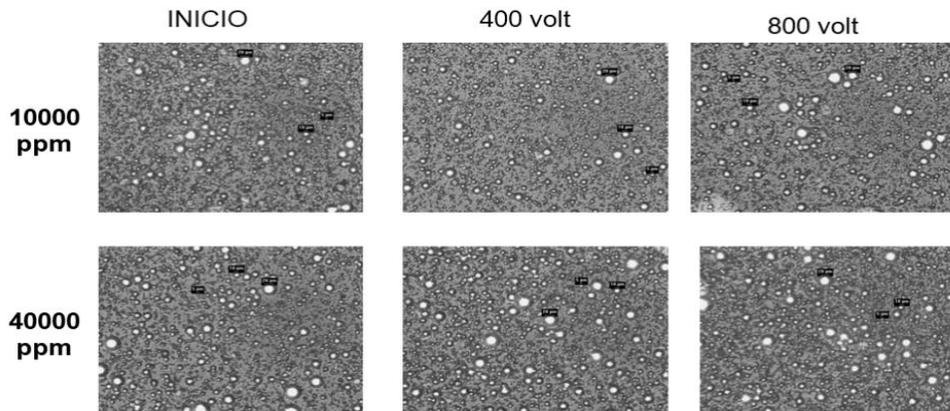
a) Emulsión W/O 10% de agua y 10.000 ppm NaCl



b) Emulsión W/O 10% de agua y 40.000 ppm NaCl

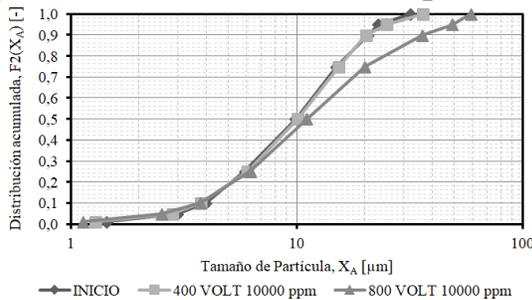
**Figura 8.** Curva de distribución acumulada de gotas Emulsiones W/O 10% Agua luego de aplicar campo eléctrico.

En la figura 9 se muestra el cambio producido sobre la muestra con un 20% de Agua y concentraciones de sal de 10.000 ppm y 40.000 ppm, es de notar que la imagen no permite hacer una inferencia sobre el cambio producido por lo que es necesario examinar la figura 10 con la distribución acumulada de gotas.

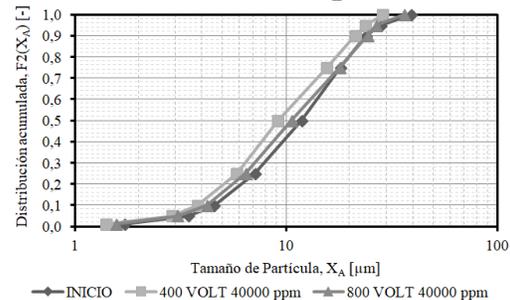


**Figura 9.** Emulsiones W/O 20% Agua luego de aplicar campo eléctrico DC.

Para el caso de emulsiones W/O con 20% de Agua con 10.000 ppm de concentración de sales presentado en la figura 10.a se observa un desplazamiento de la curva hacia la derecha favoreciendo la formación de gotas de mayor diámetro cuando se aplica un voltaje de 800 V, mientras que en la figura 10.b no se observa cambio significativo en la distribución acumulada de gotas.



a) Emulsión W/O 20% de agua y 10.000 ppm NaCl

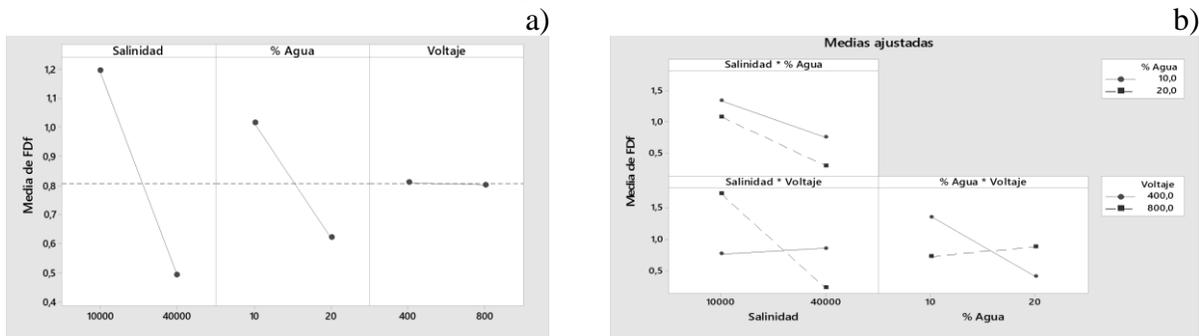


b) Emulsión W/O 20% de agua y 40.000 ppm NaCl

**Figura 10.** Curva de distribución acumulada de gotas Emulsiones W/O 20% Agua luego de aplicar campo eléctrico

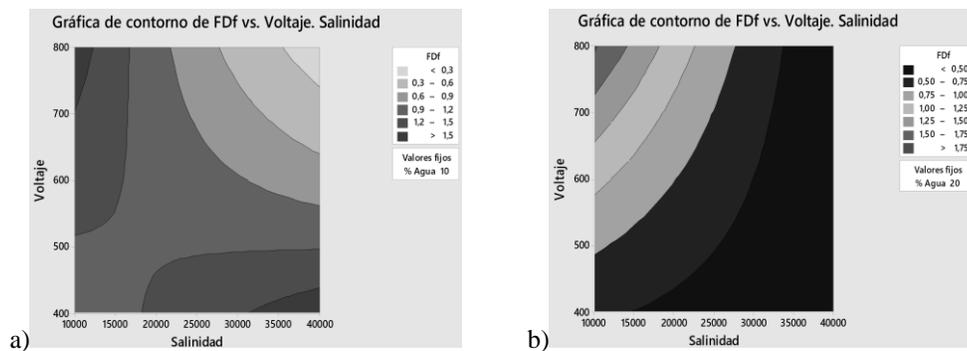
El efecto electroforético explica la disminución de diámetro de gotas cuando la fase dispersa en la emulsión alcanza los 40.000 ppm, ya que al someter a los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  a un campo eléctrico, los iones de sodio se moverán hacia el electrodo negativo, mientras que los iones de cloro se moverán hacia el electrodo positivo produciendo el achatamiento y posterior división de la gota, al aumentar la conductividad producto del aumento de concentración de sal mayor es la densidad de corriente que fluye, por ende el campo eléctrico sobrepasa el crítico produciéndose el fenómeno de dispersión eléctrica, lo cual se puede comparar con una explosión de la gota.

En la figura 11.a se muestra la gráfica de los efectos principales. La salinidad es la que provoca mayor cambio en el  $\text{FD}_F$ , favoreciendo la formación de gotas mayores a  $20\mu\text{m}$  a concentraciones bajas. La variación del porcentaje de agua de 10% a 20% también afecta el  $\text{FD}_F$  disminuyendo la formación de gotas mayores a  $20\mu\text{m}$  cuando va de un valor bajo a uno alto. Finalmente, el voltaje no representa ningún efecto de manera independiente.



**Figura 11.** a) Gráfica de efectos principales. b) Gráfica de interacción

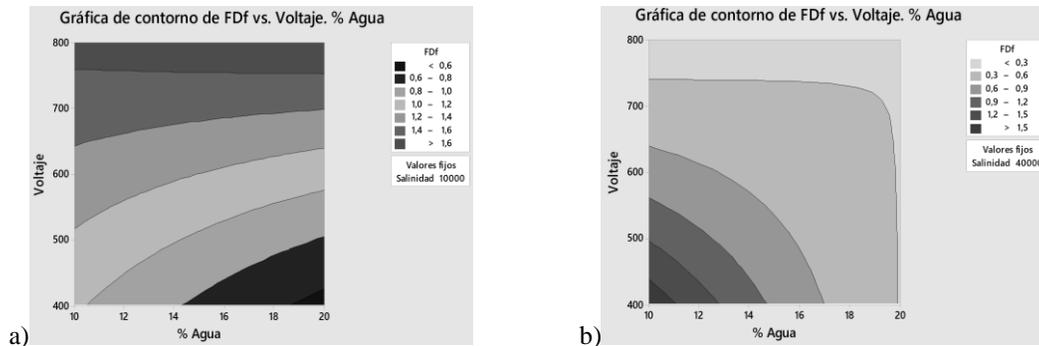
Observando sólo los efectos principales, las mejores condiciones parecen ser valores bajos de concentración de sal y porcentaje de agua. Sin embargo, cuando se aumenta la concentración de sal en la emulsión W/O, el  $\text{FD}_F$  se ve desfavorecido a voltajes altos. Otra interacción observada es el porcentaje de Agua y el Voltaje, cuando se aumenta el porcentaje de agua en la emulsión W/O el  $\text{FD}_F$  se ve desfavorecido al aplicar voltajes bajos, nuevamente se demuestra que no solo el porcentaje de agua actúa como efecto principal, sino que interactúa con el voltaje aplicado. En vista que la principal interacción la representa la combinación de dos factores, en la figura 12 se muestra la gráfica de contorno con la interacción Voltaje-Salinidad.



**Figura 12.** Gráfica de contorno interacción para  $\text{FD}_F$  Voltaje-Salinidad con a) 10%, b) 20% Agua

Para porcentajes de agua 10% de Agua (Figura 12.a) al aplicar voltajes altos se origina una disminución del tamaño de gotas; mientras que para 20% de Agua (Figura 12.b) el  $FD_F$  se favorece con concentraciones bajas y voltajes altos.

En la figura 13, se muestra la interacción Voltaje-% Agua y se evidencia que para porcentajes de agua altos, el efecto del voltaje e incrementos de concentraciones de sal desfavorecen el incremento de tamaño de gotas.



**Figura 13.** Gráfica de contorno interacción para FDF Voltaje-% Agua con 10.000ppm y 40.000ppm Sal.

## CONCLUSIONES

Se observó mayor diámetro de una gota a concentraciones altas de sal indistintamente del porcentaje de agua de la emulsión. Una alta concentración de sal favorece el proceso de deshidratación aumentando el porcentaje de agua separada independientemente del uso de 100 o 300 ppm de química demulsificante. La velocidad de decantación de acuerdo a la ley de Stokes aumentó en promedio 43% cuando la concentración de sal se eleva de 10.000 ppm a 40.000 ppm. El efecto principal en el método químico - demulsificante fue la dosificación de química con una contribución de 60,5% seguido de la concentración de sal con un 25,0%. No existe interacción entre los factores de concentración de sal, porcentaje de agua y dosificación de química en los niveles estudiados. El efecto principal en el método electrostático fue la salinidad favoreciendo la desestabilización a bajas concentraciones. La variación del porcentaje de agua de 10% a 20% al aplicar campo eléctrico DC también afecta el  $FD_F$  disminuyendo la formación de gotas mayores a  $20\mu\text{m}$  cuando va de un valor bajo a uno alto. Existe interacción de factores en el proceso de deshidratación electrostática con campo DC, cuando se aumenta la concentración de sal en la emulsión W/O el  $FD_F$  se ve desfavorecido a voltajes altos. El incremento en la salinidad, favorece la desestabilización de la emulsión ante el campo eléctrico al trabajar a bajos voltajes, donde a mayor contenido de agua se requiere aplicación de mayor voltaje

## REFERENCIAS

- [1] FUNG, E. (2011). Separación electrostática con corriente directa para la desestabilización de emulsiones agua-crudo de distintas fosas de producción mezcladas con solvente. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- [2] RODRÍGUEZ, M. (2013) "Desestabilización electrostática de emulsiones en fosas de producción". Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- [3] SELLMAN, E., KUMAR, P. Y SAMS, G. (2012). Benefits of Using Advancend Electrostatic Fields in Crude Oil Dehydrators and Desalters. Society of Petroleum Engineers. Doha Qatar.