

ROMPIMIENTO DE EMULSIONES AGUA EN CRUDO UTILIZANDO MICROONDAS

A. Zona, C. Ortiz, R. Correa
Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander,
Bucaramanga, Santander, A.A. 678. Colombia
email: ccorrea@uis.edu.co

RESUMEN

En esta investigación se utilizó un método no convencional para el rompimiento de emulsiones agua en crudo mediante la desestabilización de la fase interna aplicando microondas; con propósitos de comparación se utiliza un método tradicional que incluye la acción de rompedores químicos combinado con calentamiento (pruebas de botella). Las relaciones de agua aceite (W/O) tomadas fueron 30/70 y 50/50 ; para la formación de estos sistemas emulsionados se realizó una selección de variables fluido-dinámicas, composición, siendo el diseño de experimentos del tipo factorial.

Se concluyó que el tiempo de tratamiento con microondas es menor que el requerido por el método convencional, presentando una relación directa con la cantidad de agua separada; además se determinó la influencia inversa de la concentración de electrolito en la variación de la temperatura para un determinado tiempo de tratamiento; también se observó una mayor separación de agua en sistemas libres de cosurfactante, comparados con los sistemas con cosurfactante, para cualquier duración de tiempo de tratamiento.

INTRODUCCION

El presente trabajo se fundamenta en la necesidad de implementar un nuevo método alternativo de rompimiento de emulsiones principalmente en la industria del petróleo, donde se producen emulsiones de forma natural que no pueden ser evitadas; por lo que se hace necesario romperlas para separar las dos fases

como en el caso de los procesos de producción y extracción del crudo, en donde la ruptura se hace con el fin de eliminar el agua del crudo para el manejo eficiente en refinería. Otras aplicaciones potenciales están relacionadas con el medio ambiente, pues se podrán recuperar las aguas de las lagunas de oxidación que posean crudo como contaminante.

La mayor dificultad en el rompimiento de emulsiones es debido al fenómeno de coalescencia. Dentro de los métodos convencionalmente usados para la desemulsificación se encuentran el de adición de químicos combinado con calentamiento.

El uso de las microondas suministra una nueva alternativa en el rompimiento de emulsiones. El principal mecanismo por el cual las microondas generan calor en un material es la rotación dipolar; el agua por ser una molécula polar tiende a alinearse bajo la acción del campo electromagnético alterno, en el que la polaridad varía con la frecuencia de las microondas. El calor es generado por la fricción de las moléculas, las cuales vuelven a su orientación al azar, una vez suspendido el campo.

En el proceso de rompimiento de una emulsión agua en crudo por radiación con microondas ocurre un calentamiento selectivo de las gotas de agua, que trae consigo, la disminución de la viscosidad de la interfase agua-crudo, permitiendo la coalescencia y posterior separación de fase; también se cree que ocasionan la desestabilización de los agentes tensoactivos presentes en la interfase mediante un aumento de solubilidad a la fase continua crudo. Una vez eliminada la resistencia a la coalescencia, las gotas de agua se aproximan formando gotas más grandes y luego se asientan por diferencia de densidades. La estabilidad de una emulsión también está relacionada con la presencia de cosurfactantes; se cree que tal comportamiento es debido a que el cosurfactante proporciona una

mayor estabilidad a la emulsión y por consiguiente hace más difícil el rompimiento de ésta. El efecto del tipo de surfactante sobre la desemulsificación con microondas es el de estabilizar a la emulsión ofreciendo una mayor resistencia a la ruptura.

Por tratarse de pruebas preliminares y de laboratorio no se realizó un estudio económico. El factor principal considerado es el de la eficiencia energética del proceso, aclarando que las muestras no consumen la totalidad de la energía generada por el magnetrón debido a que la cavidad del equipo utilizado es de tamaño preestablecido. La potencia que entrega el magnetrón es de 270W.

PARTE EXPERIMENTAL

Los ensayos realizados en la parte experimental se hicieron a sistemas emulsionados W/O 30/70 y 50/50 con el fin de analizar la influencia de diferentes variables en el proceso de rompimiento de dichos sistemas.

En las pruebas de rompimiento de las emulsiones, los ensayos realizados usando microondas se hicieron bajo un diseño factorial de experimentos, en el que inicialmente se llevaron a cabo pruebas preliminares para la preparación de los sistemas emulsionados.

Los ensayos hechos con rompedores químicos se usaron como un método adicional para posterior comparación.

Pruebas de rompimiento de emulsiones W/O (30/70)

Se seleccionaron las variables presentadas en la Tabla 1 con los correspondientes valores, estos valores proporcionan los mejores resultados para la obtención de

una emulsión con un tiempo aproximado de estabilidad de cuatro horas, tiempo suficiente para efectuar los análisis respectivos (seguimiento microscópico, pruebas de viscosidad y rompimiento). Solamente se tuvieron en cuenta las anteriores especificaciones para la emulsión en estudio.

TABLA 1. Condiciones fijas para la preparación de emulsiones W/O (30/70)

<i>Volúmen</i>	<i>500ml</i>
<i>Tipo de agitador</i>	<i>UltraTurrax T 25</i>
<i>Velocidad de agitación</i>	<i>11000rpm</i>
<i>Tiempo de agitación</i>	<i>3 minutos</i>
<i>Concentración de surfactante</i>	<i>60 ppm</i>
<i>Tamaño y forma del recipiente</i>	<i>Beaker 1 Lt</i>
<i>Relación agua:aceite (W/O)</i>	<i>0.43</i>

Se realizó un diseño factorial por bloques considerando: tres tiempos de tratamiento con microondas, tres porcentajes de electrolito (NaCl), dos tipos de surfactantes y tres formas de preparación de la emulsión. Para un total de 54 experimentos.

El planteamiento de las hipótesis en forma general es el siguiente :

Bajo un nivel de significancia general determinado, por ejemplo 0.01, se considera H (hipótesis nula): $Y_i = 0$, es decir que la variable Y considerada no tiene efecto sobre la variable respuesta, por ejemplo, el tiempo de tratamiento no afecta el porcentaje de separación en la emulsión. Y la hipótesis alterna $Y_i \neq 0$, es decir, que la variable considerada si tiene efecto sobre la variable respuesta, por ejemplo el tiempo de tratamiento si afecta el porcentaje de separación de agua en la emulsión.

Igualmente para las otras variables de proceso, concentración de NaCl agregado, forma de preparación de la emulsión, emulsificantes utilizados y la combinación

tiempo de tratamiento con tipo de emulsificante, concentración de sal agregada con tipo de emulsificante y tiempo de tratamiento con concentración de sal agregada y tipo de emulsificante

Los tiempos de tratamiento con microondas se seleccionaron de acuerdo a la rapidez de absorción de irradiación, reflejada en el aumento de la temperatura de la emulsión, así, para un tiempo de 12 minutos se registró una temperatura de 93°C, tomada como temperatura máxima para la suspensión de la irradiación, debido a que a temperaturas ligeramente superiores (95°C) se presenta una alta evaporación instantánea de agua, provocándose así la proyección fuera del recipiente de la mayor parte de fluido en tratamiento, ocasionando cambios drásticos en las condiciones de operación.

Los tres porcentajes de electrolito (NaCl), se seleccionaron de tal forma que se pudiera comprobar la influencia de las cargas iónicas adicionales en la absorción y el consecuente calentamiento de la emulsión en tratamiento. Se eligieron dos valores extremos y un valor intermedio, intentando conseguir a partir de este último, un máximo que proporcione un criterio para una buena operación.

Los tres métodos de preparación de la emulsión se seleccionaron con el objetivo de hallar la influencia de la forma de adicionar la solución de agua-surfactante al crudo y la localización del eje del Ultraturrax dentro del recipiente durante la agitación; en el transcurso de la preparación de la emulsión, se eligieron tres maneras de adición de la solución agua-surfactante, una es la adición de la solución lentamente sobre el cilindro del Ultraturrax, manteniendo inmóvil el eje del Ultraturrax; la otra es la adición de la solución lentamente sobre la pared interna del recipiente, manteniendo inmóvil el eje del Ultraturrax; una tercera manera de preparar la emulsión es la de adicionar la solución agua-surfactante sobre la pared

interna del recipiente e ir desplazando lentamente el eje del Ultraturrax cerca de las paredes del recipiente, mediante un movimiento circular de éste último.

Del diseño factorial de experimentos para el rompimiento de emulsiones W/O (30/70) usando microondas bajo un nivel general de significancia de 0.01 se concluye : el tiempo de tratamiento sí influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.585, es decir que esta variable es de alta influencia en el experimento ; la concentración de sal (NaCl) agregada si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.038; la forma de preparación (de la emulsión) no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de tiempo de tratamiento con concentración de sal agregada si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.024 ; la combinación de los factores tiempo de tratamiento con tipo de surfactante no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de los factores, concentración de sal (NaCl) agregada con tipo de surfactante no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de los factores tiempo de tratamiento, concentración de sal agregada y tipo de surfactante si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.024.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el volumen de agua observada, el porcentaje de agua separada (alternativamente, porcentaje de agua remanente en la emulsión) fue calculada del balance total de agua. Durante el periodo de calentamiento, ocurren dos fenómenos simultáneamente, el primero es la desestabilización de la interfase líquido-líquido, presentándose también cambios en la viscosidad de la fase continua; el segundo fenómeno, es la coalescencia de las gotas de agua manifestada por la presencia de la interfase entre la emulsión y la capa de agua

clara. Los efectos de la irradiación con microondas de las muestras pueden ser resumidas así :

La irradiación con microondas sobre las muestras de emulsión causa un incremento en la coalescencia de las gotas de agua. La cantidad de agua separada se incrementa con el tiempo de tratamiento en microondas, sin embargo, para este caso se tiene un límite de temperatura, es decir, el tiempo de duración de la irradiación con microondas está directamente relacionado con el aumento de temperatura de la muestra y se observa una máxima temperatura de 93°C ; para valores superiores se presenta la “explosión” de la muestra debido a la rápida evaporación de las gotas de agua. La temperatura y el porcentaje de separación son proporcionales al tiempo de tratamiento como lo muestra la Figura 1.

Es importante tener en cuenta que a temperaturas superiores de 50°C comienza a presentarse la pérdida de livianos en el crudo, lo cual disminuye la calidad del crudo.

La variación de la temperatura con el tiempo de tratamiento se ve claramente influenciada con la concentración de electrolito, una muestra sin electrolito (Figura 1) presenta un incremento de temperatura más lento que en muestras con porcentajes de electrolito (NaCl) de 0.1 y 0.7% respecto al agua. A mayor concentración de electrolito se necesita menos tiempo para alcanzar la temperatura crítica, debido al efecto de las microondas sobre las cargas iónicas adicionales.

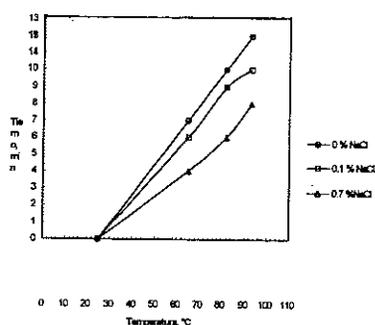


FIGURA 1. Variación de la temperatura con el tiempo durante el tratamiento con microondas, de una emulsión W/O (30/70) con diferentes concentraciones de NaCl.

Para un tiempo de tratamiento con microondas de siete minutos (Figura 2), se observa una variación de la temperatura proporcional al tiempo de tratamiento, la variación del peso perdido durante el tratamiento con microondas es proporcional al tiempo de tratamiento, teniéndose un máximo de 7%, ésta pérdida de peso corresponde a agua evaporada y a evaporación de livianos en el crudo ; también se observa que el porcentaje de agua separada varía proporcionalmente al tiempo de tratamiento.

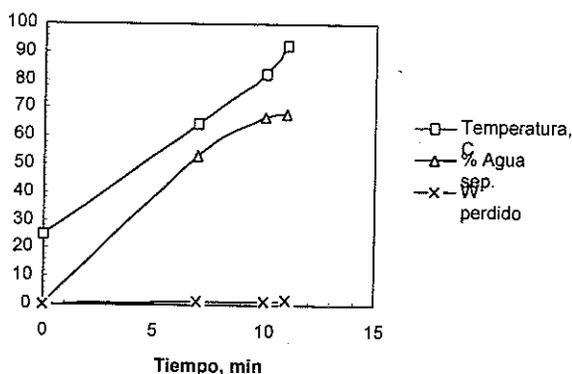


FIGURA 2. Efectos de la irradiación con microondas en una emulsión W/O (30/70), bajo condiciones de experimentación.

Comparación entre los dos métodos en emulsiones W/O (30/70)

La comparación de los resultados de los dos métodos estudiados se presenta en las Figuras 3, 4 y 5.

En la Figura 3 se observa una gran diferencia en los tiempos de tratamiento entre microondas y rompedor-calentamiento térmico, para éste último caso se mantuvo una temperatura de 65°C utilizando un baño termostático; el tratamiento con microondas presenta resultados similares en un tiempo 17 veces menor al utilizado en el tratamiento rompedor calentamiento térmico. Es evidente que la disminución de los gastos energéticos y la altísima disminución del tiempo de tratamiento, favorece la aplicación de las microondas al proceso de rompimiento del sistema emulsionado en estudio.

Otro aspecto interesante es el efecto de la concentración de electrolito (NaCl) en el sistema emulsionado en estudio, sin tener en cuenta los cambios a nivel de tensión interfacial. Para el caso de la Figura 3, sin adicionar NaCl, el calentamiento del sistema emulsionado tratado con microondas es relativamente lento, ya que las microondas solamente tienen efecto principalmente sobre las moléculas de agua.

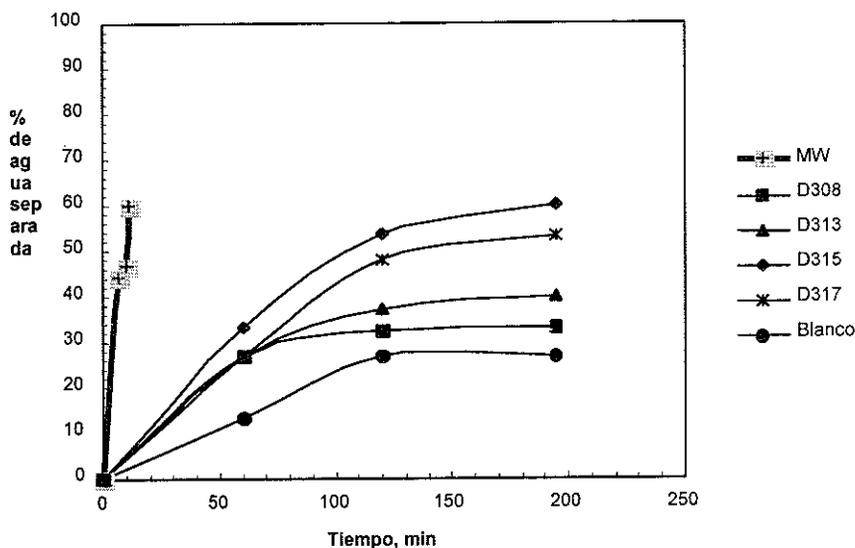


FIGURA 3. Comparación de los dos tratamientos estudiados para una emulsión sintética W/O, sin presencia de electrolito (NaCl).

El comportamiento del sistema emulsionado sometido a la irradiación con microondas ante el aumento de la concentración de electrolito, a 700 ppm, se puede observar en la Figura 4, el cual es un comportamiento muy similar al del sistema emulsionado cuyos resultados se muestran en la Figura 3, sin embargo, se observa que el aumento de la concentración de electrolito favorece el calentamiento y el porcentaje de separación de agua hasta en un 20%.

Bajo ciertas condiciones de operación, el uso de microondas en el rompimiento del sistema emulsionado analizado, presenta mayores porcentajes de agua separada en tiempos de tratamiento muy inferiores, que los porcentajes de agua separada obtenidos mediante el tratamiento convencional rompedores-calentamiento térmico.

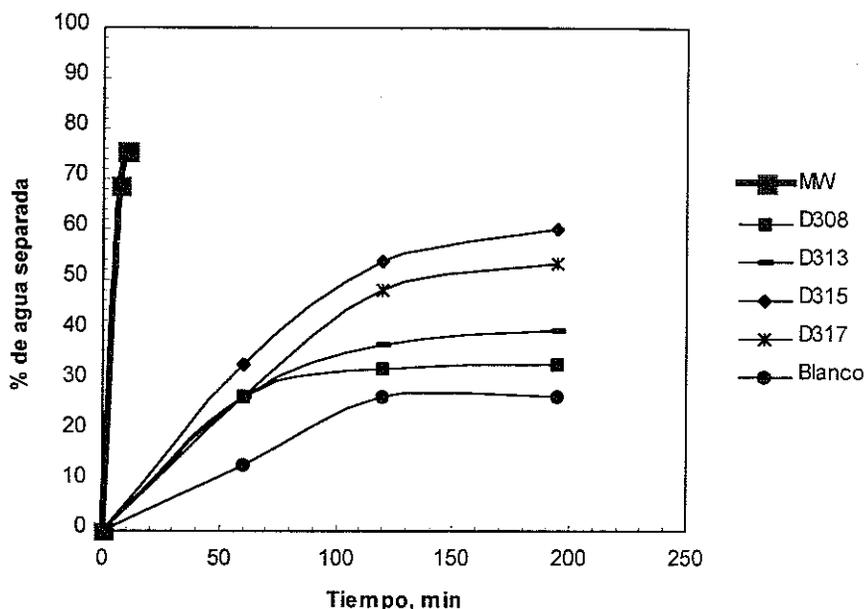


FIGURA 4. Comparación de los dos tratamientos estudiados para una emulsión sintética W/O, con 700 ppm de electrolito (NaCl).

Al continuar con el incremento de la concentración de electrolito, Figura 5, con 4895 ppm de NaCl agregado, puede observarse que se presenta una ligera disminución en el porcentaje de agua separada para la emulsión tratada con microondas y que el tiempo de tratamiento es menor, también indica que existe una concentración de electrolito máxima e intermedia, con la que se puede obtener un porcentaje de separación de agua óptimo.

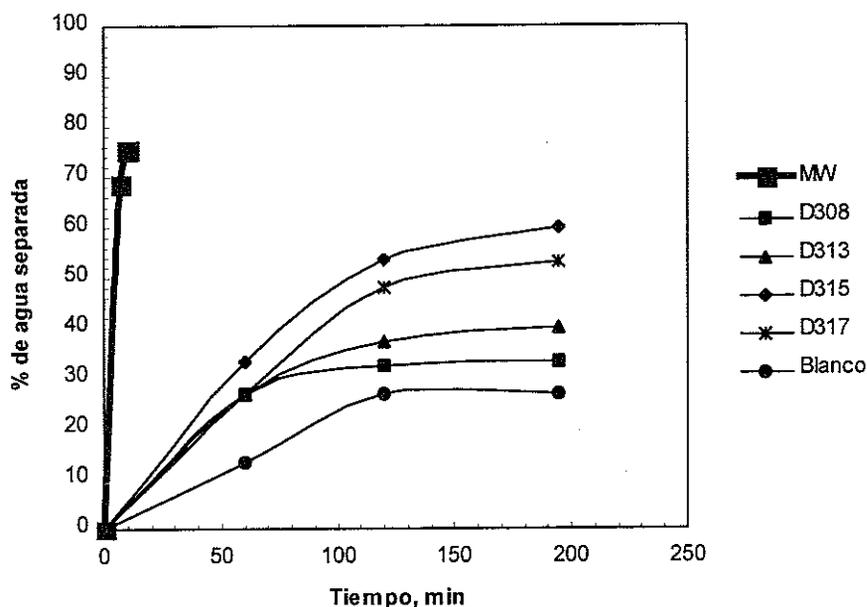


FIGURA 5. Comparación de los dos tratamientos estudiados, demulsificadores químicos y tratamiento con microondas para una emulsión sintética W/O, con 4895 ppm de electrolito (NaCl).

Ensayos de formación y rompimiento del sistema emulsionado W/O (50/50)

En la Tabla 2 se muestran los datos relacionados con el comportamiento de espesamiento de las emulsiones, transcurrida media hora de su preparación. Estas fueron preparadas con crudo Caño Limón o crudo Texas y los diferentes agentes tensoactivos; bajo las siguientes especificaciones: tiempo de agitación de tres minutos, frecuencia de agitación de 11000 r.p.m., porcentaje de agua de 50 % en volumen, concentración de surfactante de 10 p.p.m. y sin concentraciones de sal y alcohol.

TABLA 2. Datos relacionados con el comportamiento de espesamiento de las emulsiones

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO	TIPO DE CRUDO	TIPO DE SURFACTANTE	ESPEZAMIENTO DE LA EMULSION DESPUES DE TRANSCURRIDA UNA HORA DE LA PREPARACION
Tiempo de Agitación de 3 min. Frecuencia 11000 r.p.m. Porcentaje de agua 50 % Concentración de Surfactante 10 p.p.m.	Crudo Caño Limón	Tween 80	Si
		Tween 85	Si
		Span 80	Si
	Crudo Texas	Tween 80	No
		Tween 85	No
		Span 80	No

De los resultados presentados en la Tabla 2 se descartó el uso del crudo Caño Limón en la formación de estos sistemas emulsionados, ya que el comportamiento de gel que presentaron es indeseable en el rango de aplicación de dichas emulsiones sintéticas y se escogió el crudo Texas para la producción de las emulsiones.

Con el tipo de crudo ya escogido, se procedió entonces a preparar emulsiones bajo ciertas especificaciones, para observar el comportamiento de las concentraciones de los agentes tensoactivos sobre la estabilidad de dichos sistemas y así poder fijar una concentración de surfactante apropiada para producir emulsiones estables. La medición de la estabilidad se hizo en función del volumen de fase acuosa separada.

En la Tabla 3 se presentan tabulados los datos de volumen de agua separada en un tiempo de una hora para las emulsiones preparadas con diferentes concentraciones de los tipos de surfactantes disponibles, con el crudo seleccionado. En esta prueba se utilizaron probetas de 1.000 ml que contenían una muestra de 500 ml.

TABLA 3. Volumen de agua separada en emulsiones preparadas con Crudo Texas

ESPECIFICACIONES	CONCENTRACION	VOLUMEN DE AGUA SEPARADA (ml)		
DEL ENSAYO	(p.p.m.)	TWEEN 80	TWEEN 85	SPAN 80
Vol. de Muestra 500 ml	10	250	250	250
Tiempo de agitación 3 min.	100	150	200	250
Frecuencia de	500	100	150	200
agitación 11000 r.p.m.	750	40	80	150
Porcentaje de agua 50%	1000	2	45	150

Con base en los resultados reportados en la Tabla 3 se descartó el uso del surfactante *Span* 80, ya que éste presentó una cantidad considerable de agua separada en una hora; se escogieron los surfactantes *Tween* 80 y *Tween* 85 para preparar los sistemas emulsionados requeridos y se fijó la concentración de éstos dos surfactantes en 1000 ppm.

Pruebas de rompimiento de emulsiones W/O (50/50).

El proceso experimental seguido para el estudio del método de rompimiento de emulsiones agua en crudo 50/50 en volumen con microondas es descrito a continuación.

El objetivo de esta etapa experimental fue medir el rompimiento o separación de los sistemas emulsionados seleccionados, exponiéndolos al microondas observando las correspondientes influencias de las variables involucradas.

El desarrollo de estas pruebas se hizo bajo un diseño factorial de experimentos, con el fin de mostrar la influencia de las variables independientes (factores), sobre la variable dependiente (respuesta), por medio de manipulación y control de los factores; esto se observa como los cambios producidos en la variable separación debido a variaciones en los factores involucrados.

Materiales:

Se usaron dos tipos de surfactantes, *Tween 80* y *Tween 85* sal (50 p.p.m. de yodo y 180-220 ppm. de flúor), alcohol, agua destilada, probetas de 1000 y 50 ml, vasos de precipitado de 1000 y 250 ml, micropipetas y un termómetro de mercurio de 160°C.

Equipo:

Una balanza, un agitador *ultraturrax*, las especificaciones de este agitador fueron referidas en un numeral anterior y un horno microondas (*panasonic*) modelo NN-7602/NN-7512, potencia neta 900 W., dimensiones de la cavidad 259m.m.x415m.m.x385m.m., frecuencia de operación 2450 MHz, con seis niveles de potencia.

El experimento:

Siguiendo la metodología mencionada se escogió como variable respuesta a la cantidad de fase acuosa separada respecto a 50 ml de emulsión tratada o expuesta al microondas. La escala de medición de la variable esta dada en mililitros.

El siguiente paso es listar las variables que puedan afectar la variable respuesta y escoger los factores de interés. Para el análisis de los factores seleccionados las variables restantes se deben fijar o aleatorizar. La lista de las variables que afectan la separación se encuentra en la Tabla 4.

TABLA 4. Lista de variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DE INTERES	VARIABLES FIJADAS	VARIABLES ALEATORIZADA
Tipo de Crudo		*	
Porcentaje de Crudo		*	
Tipo de Agua		*	
Tipo de surfactante		*	
Concentración de Sal	*		
Concentración de Alcohol		*	
Tiempos de Agitación	*		
Frecuencia de Revolución	*		
Tiempos de Exposición en el Microondas		*	
Potencia Usada en el Microondas		*	
Geometría del Sistema			*
Temperatura de Muestras Tratadas			*
Cantidad de agua evaporada			*
Tiempo al cabo del cual se realiza la medición	*		

Es fundamental que las emulsiones producidas de las combinaciones de los factores involucrados cumplan con las especificaciones en el rango de aplicación de dichos sistemas; tales especificaciones son: emulsiones tipo agua en aceite y estabilidad durante un periodo suficiente para realizar todos los correspondientes ensayos. La estabilidad se observa en función del volumen de fase acuosa separada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hicieron unas pruebas para mirar el efecto de tipo de surfactante, concentración de sal y concentración de alcohol en la estabilidad y tipo de sistema emulsionado formado; se fijaron como variables el tipo de crudo, porcentaje de crudo, tipo de agua, porcentaje de agua, concentración de surfactante, tiempo de agitación y frecuencia de revolución. Los datos tomados en estas pruebas se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5. Volúmenes de fase acuosa separada en cinco minutos y una hora

ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO	TIPO DE SURFACTANTE	CONCENTRACION DE SAL (p.p.m)	CONCENTRACION DE ALCOHOL (p.p.m)	TIPO DE EMULSION	VOLUMEN DE SEPARADA	FASE ACUOSA (ml)
					1 Hora	3 Horas
Tipo de crudo Texas		0	0	(w/O)	2	60
Porcentaje de crudo 50 %	Tween	10000	0	(W/O)	45	100
Vol. de muestra 500 ml	80	0	12500	(O/w) IDE	—	—
Tiempo de agitacion 3 min		10000	12500	(O/w) IDE	—	—
Frecuencia 11000 rpm		0	0	(W/O)	40	60
Porcentaje de agua 50 %	Tween	10000	0	(W/O)	200	250
Tipo de agua De grifo	85	0	12500	(W/O)	10	65
Conc. surfactante 1000 ppm		10000	12500	(W/O)	180	250

CONVENCIONES
IDE : Inversion de la Emulsion

Algunas de las diferentes emulsiones preparadas combinando los niveles de los distintos factores, no cuentan con las especificaciones requeridas para el rango propuesto, por lo que no pueden ser observados todos los efectos de las combinaciones de tipo de surfactante, concentración de sal y concentración de alcohol.

En la Tabla 6 se presenta un resumen de las emulsiones que cumplen con las especificaciones requeridas, están constituyen los sistemas emulsionados a estudiar.

TABLA 6. Sistemas emulsionados a analizar

SISTEMA EMULSIONADO	TIPO DE SISTEMA
Primer sistema	Tween 80
Segundo sistema	Tween 80 - sal
Tercer sistema	Tween 85 - alcohol
Cuarto sistema	Tween 85

Los factores de interés que se escogieron para estudiar, pues se consideran que influyen en la separación, fueron: el tipo de sistema (A), tiempo al cabo del cual se realiza la medición (B) y tiempo de exposición (C).

Para el análisis de estos tres factores, se hizo un diseño factorial, donde el sistema (A) es fijo y los factores tiempo al cabo del cual se realiza la medición (B) y tiempo de exposición son aleatorios. Los datos codificados aparecen en la Tabla 7.

TABLA 7. Factores a analizar su influencia

FACTOR	TIPO DE FACTOR	NUMERO DE NIVELES	NIVELES
			Sistema 1
Sistema	Cualitativo fijo	4	Sistema 2
			Sistema 3
			Sistema 4
Tiempo al cabo del cual se realiza la medición	Cuantitativo aleatorio	2	1 Hora
			3 Hora
			2 min.
Tiempos de exposición	Cuantitativo aleatorio	4	3 min.
			4 min.
			5 min.

TABLA 8. Porcentajes de agua separada y agua residual en los sistemas emulsionados después de cinco minutos de tratamiento en el microondas

SISTEMA TIEMPO DE EXPOSICIÓN	PRIMER SISTEMA		SEGUNDO SISTEMA		TERCER SISTEMA		CUARTO SISTEMA	
	% AGUA SEPARADA	% AGUA RESIDUAL						
2 min.	20	80	72	28	48	52	60	40
	20	80	68	32	40	60	52	48
	16	84	64	36	40	60	64	36
3 min.	24	76	72	28	48	52	68	32
	32	68	68	32	52	48	72	28
	32	68	76	24	52	48	68	32
4 min.	40	60	84	16	52	48	76	24
	36	64	72	28	60	40	74	26
	38	62	76	24	60	40	68	32
5 min.	52	48	84	16	60	40	72	28
	32	68	88	12	60	40	78	22
	40	60	80	20	68	32	72	28

TABLA 9. Porcentajes de agua separada y agua residual en los sistemas emulsionados después de una hora de tratamiento en el microondas

SISTEMA TIEMPO DE EXPOSICIÓN	PRIMER SISTEMA		SEGUNDO SISTEMA		TERCER SISTEMA		CUARTO SISTEMA	
	% AGUA SEPARADA	% AGUA RESIDUAL						
2 min.	36	64	76	24	60	40	72	28
	32	68	76	24	48	52	72	28
	32	68	70	30	52	48	68	32
3 min.	44	56	80	20	52	48	76	24
	48	52	78	22	60	40	78	22
	48	52	80	20	50	44	72	28
4 min.	60	40	88	12	66	40	80	20
	52	48	80	20	64	63	78	22
	56	44	82	18	68	32	74	26
5 min.	72	28	88	12	68	32	80	20
	60	40	92	8	68	32	84	16
	66	34	88	12	76	24	78	22

En el proceso de rompimiento de una emulsión crudo-agua por radiación con microondas ocurre un calentamiento selectivo de las gotas de agua y sus alrededores, el cual trae consigo, la disminución de la viscosidad de la película de crudo y en los agentes tensoactivos presentes en la interfase un aumento de solubilidad a la fase continua crudo.

Una vez eliminada la resistencia a la coalescencia, las gotas de agua se aproximan formando gotas mas grandes y luego se asientan por diferencia de densidades.

La Figura 6 muestra los datos experimentales para los cuatro sistemas emulsionados tratados, estos se grafican en términos del promedio del porcentaje de agua separada una hora después de la exposición, contra el tiempo de duración del tratamiento; se observa que para una tiempo de tratamiento con microondas dado, es mayor la separación de agua en el sistema que contiene NaCl en la fase acuosa (segundo sistema) que en el sistema que no contiene (primer sistema), lo que es de esperarse debido a que la absorción de microondas se hace mayor en presencia de cargas iónicas, ya que estas emigran con el campo alterno, produciendo con este movimiento un calentamiento (corriente eléctrica) debido a la resistencia al flujo iónico entre moléculas.

El efecto de la presencia de un cosurfactante en la emulsión sobre la desemulsificación, puede ser observado en el tercer y cuarto sistema. Como se ve en dicha figura, el sistema libre de cosurfactante presenta una mayor separación de agua para cualquier duración del tratamiento, debido a que el cosurfactante proporciona mayor estabilidad a la emulsión haciendo más difícil el rompimiento de ésta.

El efecto de tipo de surfactante sobre la desemulsificación con microondas es observado en el primer (*Tween 80*) y tercer sistema (*Tween 85*), en donde se puede ver que el surfactante *Tween 80* hace más estable a la emulsión ofreciendo una mayor resistencia a la ruptura.

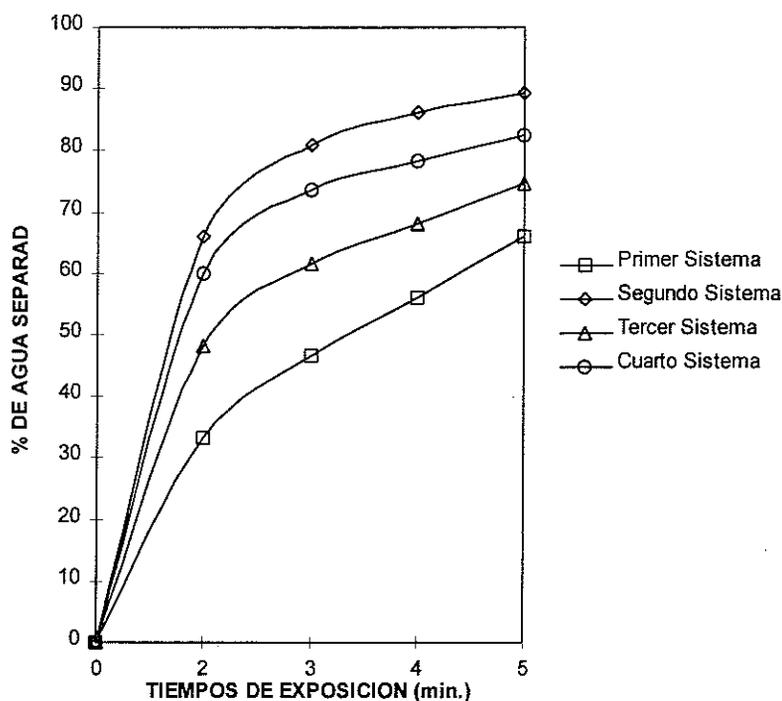


FIGURA 6. Datos de desemulsificación con microondas de los cuatro sistemas -emulsionados, en términos de porcentaje de agua separada

La Figura 7 muestra que el porcentaje de agua residual después de la exposición al microondas decrece con el aumento de la duración del tratamiento y en el siguiente orden; primer sistema, tercer sistema, cuarto sistema y segundo sistema.

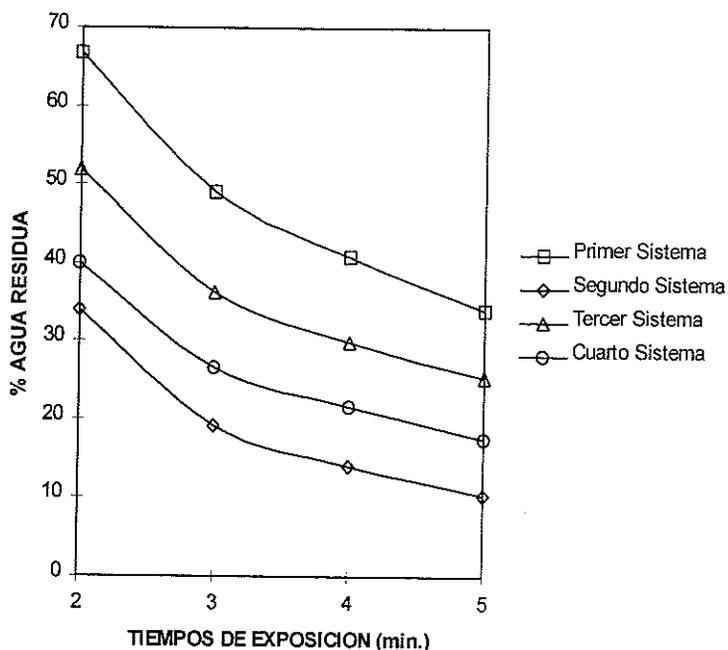


FIGURA 7. Datos de demulsificación con microondas de los cuatro sistemas -emulsionados, en términos de porcentaje de agua residual

En la Figura 8 se presentan los datos de la desemulsificación de los sistemas emulsionados en función de la temperatura. Como se puede ver, en cada uno de los sistemas tratados el porcentaje de agua separada o rendimiento aumenta con el incremento de temperatura, lo que significa que la temperatura es básicamente el factor dominante en el rompimiento de emulsiones.

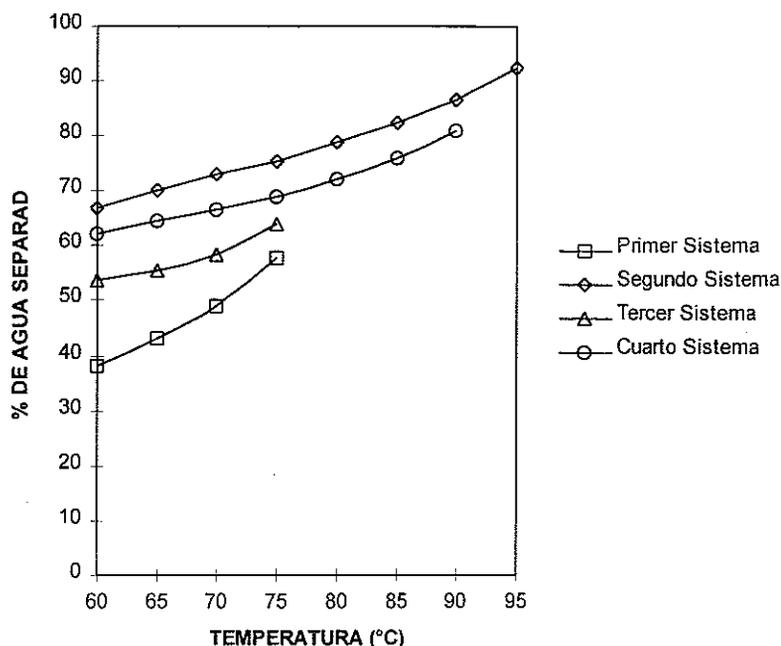


FIGURA 8. Datos de desemulsificación con microondas de los cuatro sistemas -emulsionados, en función de la temperatura

COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS METODOS CON EMULSIONES W/O (50/50)

La comparación hecha entre el método convencional y el de microondas se presenta en la Figura 9. Los datos son graficados en términos del porcentaje de agua separada con respecto al tiempo.

La Figura muestra una diferencia considerable en la eficiencia de los dos tratamientos; el método de desemulsificación con microondas presenta el mayor rendimiento con tiempos de tratamiento 36 veces menores que los empleados en la deshidratación química.

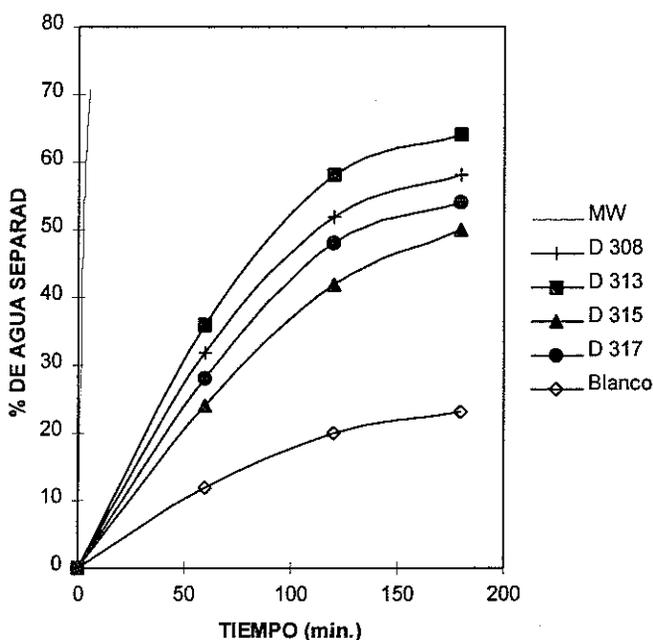


FIGURA 9. Comparación entre el método de deshidratación química y el método de desemulsificación con microondas en emulsiones W/O (50/50)

EFFECTO DEL PORCENTAJE DEL VOLUMEN DE LA FASE INTERNA DE LA EMULSIÓN SOBRE LA DESEMULSIFICACIÓN CON MICROONDAS

En la Figura 10 se presentan los datos relacionados a la desemulsificación con microondas de emulsiones W/O (30/70) y (50/50). Estos se grafican en términos del promedio del porcentaje de agua separada con respecto al tiempo de duración del tratamiento.

La Figura indica que para una separación dada, la duración del tratamiento requerido aumenta con la disminución del porcentaje de volumen de la fase

interna, debido a la absorción de las microondas por las moléculas polares y a una mayor relación de fase interna que proporciona mayor absorción de la energía del microondas.

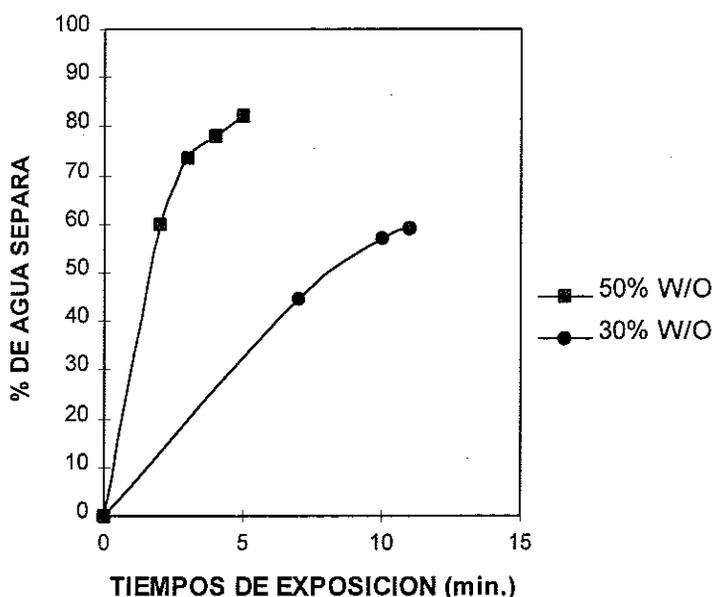


FIGURA 10. Datos de desemulsificación con microondas para emulsiones W/O (30/70) y (50/50)

COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS CON EMULSIONES W/O (30/70) Y (50/50).

Del comportamiento exhibido por cada uno de los rompedores en la deshidratación química de emulsiones W/O (30/70) y (50/50), se seleccionaron los dos rompedores de mejor rendimiento para la comparación con el método de desemulsificación con microondas ; dichos rompedores fueron el D 315 (ICI, marca registrada) y el D 313 respectivamente.

Una comparación entre el método convencional y el de microondas en emulsiones W/O (30/70) y (50/50) es mostrada en las Figuras 11 y 12 respectivamente. Los datos son graficados con base en el porcentaje de agua separada.

Ambas Figuras indican que para separaciones dadas, la duración del tratamiento al cual la emulsión debe ser expuesta es mucho mayor en el método convencional que en el de microondas. Además las microondas calientan selectivamente la fase acuosa, mientras que la deshidratación química tiene que calentar la muestra entera.

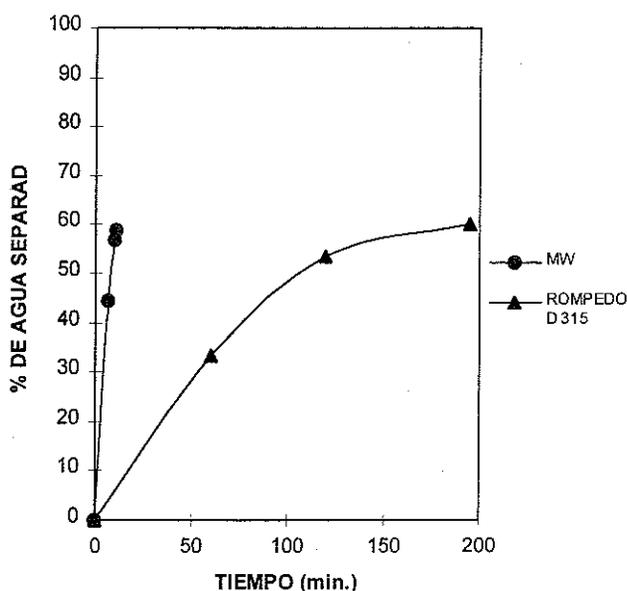


FIGURA 11. Comparación entre el método de deshidratación química y el método de microondas para emulsiones 30% W/O

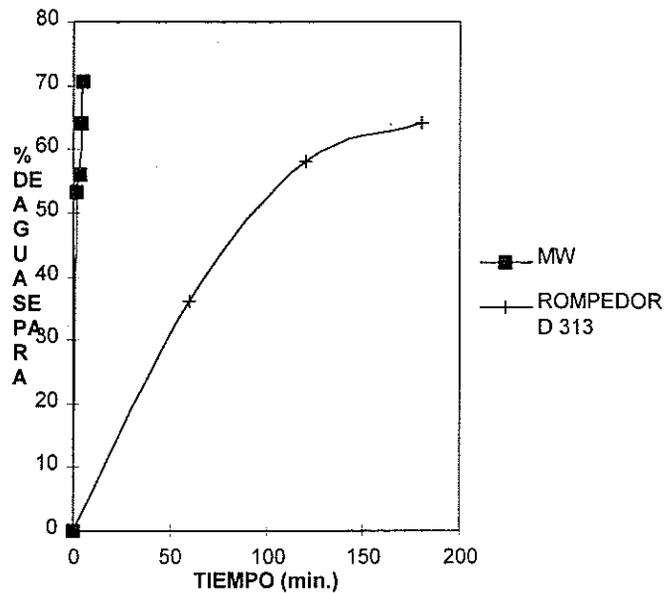


FIGURA 12. Comparación entre el método de deshidratación química y el método de microondas para emulsiones 50% W/O

CONCLUSIONES

1. Los experimentos realizados en el presente trabajo permiten concluir que la operación discontinua de desemulsificación de emulsiones agua en crudo usando microondas es efectiva, consiguiéndose separaciones de agua de más del 60 % en aproximadamente diez minutos. Este porcentaje es influenciado por los elevados gradientes de temperatura en el sistema que hacen que la velocidad de evaporación del agua sea alta originando grandes burbujas de vapor que ocasionan la "explosión" de la muestra.
2. Las microondas calientan selectivamente la fase acuosa a diferencia de la deshidratación química combinada con calentamiento, que calienta el volumen

total de la muestra. Esto implica que ya no se requiere calentar la masa total de la muestra sino únicamente la fase discontinua ; esta característica representa un potencial ahorro de energía.

3. La desemulsificación con microondas en comparación con el método convencional de deshidratación química es más efectiva, ya que la desestabilización de los sistemas emulsionados es alcanzada en tiempos menores que los requeridos en las pruebas de botella (método convencional) debido al calentamiento selectivo de las gotas de agua.

4. Debido al calentamiento volumétrico generado por las microondas, los cambios producidos en todo el sistema son uniformes. La viscosidad de la interfase disminuye originando una rápida coalescencia de las gotas y por consiguiente una ruptura de la emulsión más eficiente.

5. Los factores que afectan el proceso de rompimiento por radiación con microondas son : relación de fase interna, salinidad de la fase acuosa, concentración de surfactante, concentración de cosurfactante y tiempo de exposición a un nivel dado de potencia. La geometría y la posición dentro de la cavidad permanecieron constantes.

6. La cantidad de agua separada se incrementa con el tiempo de tratamiento en microondas ; sin embargo, para este caso se tiene un límite de temperatura, es decir, el tiempo de duración de la irradiación con microondas está directamente relacionado con el aumento de temperatura de la muestra y se observa una máxima temperatura de 93°C ; para valores superiores se presenta "explosión" de la muestra debido a la rápida evaporación de las gotas de agua.

7. La variación de la temperatura con el tiempo de tratamiento se ve claramente influenciada con la concentración de electrolito, una muestra sin electrolito (NaCl) presenta un incremento de temperatura más lento que una que contenga una concentración de NaCl. También, a mayor contenido de sal es menor el tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima de operación para este método discontinuo.

8. Del diseño factorial de experimentos para el rompimiento de emulsiones W/O (30/70) usando microondas bajo un nivel general de significancia de 0.01 se concluye : el tiempo de tratamiento si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.585, es decir que esta variable es de alta influencia en el experimento ; la concentración de sal (NaCl) agregada si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.038; la forma de preparación de la emulsión no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de tiempo de tratamiento con concentración de sal agregada si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.024 ; la combinación de los factores tiempo de tratamiento con tipo de surfactante no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de los factores, concentración de sal (NaCl) agregada con tipo de surfactante no influye en la separación de agua de la emulsión; la combinación de los factores tiempo de tratamiento, concentración de sal agregada y tipo de surfactante si influye en la separación de agua de la emulsión y tiene un nivel significativo crítico de 0.024.

9. Los tiempos de tratamiento con microondas en las pruebas realizadas a emulsiones 30/70 y 50/50 fueron 17 y 36 veces menores respectivamente que los necesarios en el tratamiento químico térmico.

10. La presencia de un cosurfactante en la emulsión proporciona mayor estabilidad y por consiguiente hace más difícil el rompimiento de ésta.

11. El efecto del tipo de surfactante sobre la desemulsificación con microondas se estudió en el primer (*Tween 80*) y tercer sistema (*Tween 85*), de los que se observó que el surfactante *Tween 80* da mayor estabilidad a la emulsión ofreciendo una mayor resistencia a la ruptura.

12. En cada uno de los sistemas tratados el porcentaje de agua separada o rendimiento aumentó con el incremento de temperatura, significando que la temperatura es básicamente el factor dominante en el rompimiento.

13. En la desemulsificación con microondas de emulsiones W/O (30/70) y (50/50) la duración del tratamiento requerida aumenta con la disminución del porcentaje de volumen de la fase interna. Tal comportamiento se puede explicar por la presencia de moléculas polares y su mayor relación porcentual.

ABSTRACT

This work is related to the microwave applications on the break down of W/O emulsions. It was found that this method is more effective than the conventional one. It is about 40 times shorter than the thermochemical method. It was found an inverse proportionality between the electrolyte concentration and the temperature treatment for a given treatment time. The ratio of water to oil for the emulsions were 30/70 and 50/50.

REFERENCIAS

1. H. Bradley, Petroleum Engineering Handbook, Society of Petroleum Engineers., p.1580, Texas : (1987).
2. M. Deker, Emulsion and Emulsion Technology. Part III . New York : (1984).
3. W. Moreno, Aplicaciones al Diseño y Análisis de Experimentos. Bucaramanga : U.I.S., (1993).
4. N. Wolf. Use of Microwave Radiation in Separating Emulsions and Dispersion of Hydrocarbons and Water. Estados Unidos: Patent. Number 4582629, Apr. 15, (1986).
5. P. Rajilder, J. MASLIYAH, Use of Microwaves for Demulsification of Water in Oil Emulsions. Canadá : Aostra Journal of Research, 7(155), (1991).
6. N. Samardzija, Apparatus for Microwave Separation of Emulsion. Willmington Delawere : Patent. Number. 4853507, Aug 1, (1989).
7. J. Thuery, Microwaves : Industrial, Scientific, and Medical Applicatios. Boston : Artech House, (1991).