

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES W/O APLICANDO MICROONDAS EN EL MATERIAL DE DISTINTAS FOSAS

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller:
Sorondo M., Armando J.
para optar por el título de
Ingeniero Químico

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES W/O APLICANDO MICROONDAS EN EL MATERIAL DE DISTINTAS FOSAS

TUTOR: María Rodríguez

CO-TUTOR: Francisco Yáñez

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller:
Sorondo M., Armando J.
para optar por el título de
Ingeniero Químico

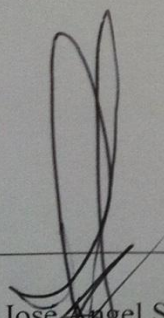
Caracas, 2012

Caracas, 07 de Junio de 2012

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller **Armando José Sorondo Miguel**, titulado:

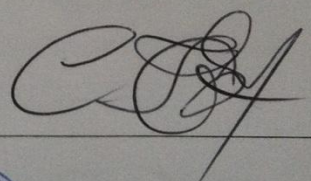
“DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES W/O APLICANDO MICROONDAS EN EL MATERIAL DE DISTINTAS FOSAS”.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



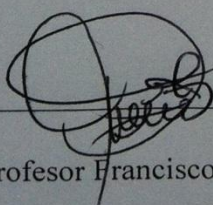
Profesor José Ángel Sorrentino

Jurado



Profesor Carlos Gil

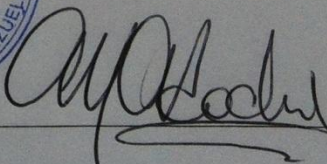
Jurado



Profesor Francisco Yáñez

Tutor Académico





Profesora María Rodríguez

Tutora Académica

DEDICATORIA

*A mi Madre, columna vertebral de mi vida que con esfuerzo, dedicación
y amor incondicional me ayudaron a cumplir esta gran meta.
Sin ti nada de esto sería posible.
Este logro también es tuyo!*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a la Universidad Central de Venezuela, lugar que por varios años fue más que una simple casa de estudios, fue un segundo hogar que me llevó a conocer a gente maravillosa y lograr esta gran meta en mi vida.

A mis tutores María Rodríguez y Francisco Yáñez, que con su gran sabiduría lograron ayudarme y guiarme en este capítulo de mi vida y conseguir esta preciada meta, gracias por la paciencia y gran apoyo!.

A los cuatro pilares fundamentales de mi vida, mi Hermosa Tía Sonia Miguel, mi abuelita Eufrosina García, mi Bellísima Mamá Sylvia Miguel y mi abuelito Mariano Miguel que más que abuelo fue mi padre y el mejor amigo, donde quiera que estés te extraño con toda el alma y te dedico este trabajo. Sin vuestra ayuda, soporte, consejos y sobretodo amor incondicional, llegar aquí habría sido imposible, con todo el amor del mundo les estaré agradecido eternamente.

Gracias a mi tío Javier Miguel por estar siempre que necesité ayuda y a mi hermano Víctor Daniel Sorondo quienes con sus locuras, chistes y cariño hacen mi vida más dichosa, a pesar de algunas peleas que podamos tener eventualmente.

A mis amigos del cole, que sin importar la distancia ni nada, son los mejores amigos que alguien puede tener, Fabio, Juan Diego, Kiko, Butra, Richard, Cesti, Ricardo (Cabeza) gracias por hacer mi vida feliz con sus chistes y locuras, los quiero infinito amigos!.

Gracias al Departamento de Química Aplicada, por el apoyo y confianza depositada en mí, gracias por permitirme ser su preparador, donde aprendí más que enseñar, a la profe Miryam Rodríguez, Carolina Pfaff, Robert Guillén, Rubén Bigott y demás personal del departamento, mi más sincero agradecimiento.

Esas personas que se cruzaron en mi camino durante mi estadía en la uni, que más que compañeros de clase se convirtieron en grandes amigos que por más años que pasen la amistad siempre perdurará, Juan José Valenotti y David Parales, mis mejores amigos de la

facultad de Ciencias, gracias por ser tan excelentes personas!. A mis amigos de Ingeniería: Benjamín, Housi, Kharlys, Luis, Christian, Varelón, Jean, Franklin, Tycho, y demás personas que sin intención omito en este párrafo, gracias por cruzarse en mi camino y hacer esta estadía universitaria tan especial, siempre estarán en mi corazón.

A los mejores compañeros de laboratorio que se pueden tener, sin su ayuda, guía, soporte, compañía y cariño habría sido imposible terminar este trabajo y junto con la profe María formamos un gran grupo de trabajo y de amigos, Betty, Maye, Axel, Ingemar, Lessita y el tío Mike, gracias!.

Gracias a esa personita especial que hizo este trabajo posible con su increíble apoyo, desde la pequeña estrella de origami que me regalaste has sido esa voz de aliento de “Sí se puede”, ese empuje extra que necesité en ocasiones, ese “no decaigas que no falta nada”, gracias tan solo por ser tú, estaré agradecido y en deuda contigo de por vida. Eva Mejicano, Gracias, simplemente Gracias!.

Y por último pero en realidad más importante, Gracias a Dios y a la Virgen Santísima, por estar siempre presente en mi vida y darme la fortaleza mental para afrontar algunos problemas y dificultades.

Sorondo M., Armando J.

DESESTABILIZACIÓN DE EMULSIONES W/O APLICANDO MICROONDAS EN EL MATERIAL DE DISTINTAS FOSAS

**Tutores: Profa. María Rodríguez y Prof. Francisco Yáñez. Tesis. Caracas, U.C.V.
Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2012, 90 p.**

Palabras clave: Fosas de Producción, Emulsión W/O, Microondas, Surfactantes, Deshidratación de Crudos, Desestabilización de Emulsiones, Microscopía Óptica, Centrifugación.

Resumen: El petróleo representa una industria multimillonaria a nivel global, así mismo los desechos producidos en la explotación y producción de este recurso tienen un valor agregado importante, estos desechos son depositados en las conocidas fosas de producción, donde se producen mezclas de difícil separación conocidas como emulsiones W/O; las cuales no pueden ser aprovechados sin tratamiento previo debido a la corrosión que puede producir en la línea de tuberías, entre otros factores, por lo que se plantea la deshidratación de crudos asistida por radiación de microondas, la cual se basa en el empleo de esta energía para la desestabilización de las emulsiones. Luego de la radiación las muestras se someten a un proceso de centrifugación para separar el agua producto de la aplicación de estas ondas electromagnéticas, estudiando y comparando la efectividad de cada prueba empleada. Además se someterán a un análisis de microscopía óptica a fin de estudiar y concluir sobre influencia de las microondas en la desestabilización de emulsiones de agua en crudo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
I.1 – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
I.2 ANTECEDENTES	3
I.3 – OBJETIVOS	8
I.3.1. Objetivo General	8
I.3.2. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
II.1 Fosas de Producción	9
II.2 Surfactantes	9
II.3 Surfactantes naturales	10
II.4 Emulsión	10
II.5 Estabilidad de las emulsiones	11
II.6 Coalescencia	13
II.7 Propiedades que intervienen en la estabilidad de una emulsión	13
II.8 Deshidratación de Crudos	15
II.9 Microondas	16

II.10 Fraccionamiento S.A.R.A.....	18
II.11 Microscopía Óptica.....	19
II.12 Distribución acumulada de tamaños de partículas.	20
CAPÍTULO III	21
MARCO METODOLÓGICO.....	21
III.1 Proceso de Lavado de los tubos de vidrio.....	21
III.2 Proceso de deshidratación aplicando Radiación de Microondas.	22
III.2.1 Barrido de tiempo para la obtención del punto de exposición máxima.....	23
III.2.2 Pruebas a diferentes porcentajes de tiempo.....	28
III.2.3 Pruebas a diferentes Niveles de Potencia.	29
III.3 Proceso de separación sin aplicación de Microondas.	29
III.4 Determinación de distribución de tamaño de gota.	30
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
IV.1 Determinación del punto de exposición máxima, al 100% de Potencia (1000 W).	32
IV.2 Pruebas realizadas a distintos porcentajes de tiempo.....	42
IV.4 Análisis SARA y propiedades fisicoquímicas	55
IV.5 Pruebas realizadas con el microscopio.....	58
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del Ácido Nafténico en emulsiones W/O. (Mutyala, et al., 2009). 6

Figura 2: Modelos de estructuras moleculares de Asfaltenos. (Marfisi y Salager, 2004)... 10

Figura 3: Representación gráfica de la estabilización de una gota de agua por agentes emulsionantes presentes en el crudo. (Marfisi y Salager, 2004). 12

Figura 4: Posibles resultados de la colisión de dos gotas de agua en una emulsión W/O. (López, 2004). 13

Figura 5: Espectro Electromagnético. (Fernandez, 2010) 16

Figura 6: Partes del Horno Microondas. (Bastidas, 2008) 17

Figura 7: Ondas electromagnéticas. Combinación de ondas de campo magnético y campo eléctrico. (García, 2011) 18

Figura 8: Esquema experimental general de la investigación. 21

Figura 9: Proceso de lavado de los tubos. 22

Figura 10: Procedimiento del barrido de tiempo para la obtención del punto de exposición máxima. 23

Figura 11: Procedimiento de pruebas a distintos porcentajes de tiempo..... 28

Figura 12: Procedimiento de pruebas a distintos niveles de potencia. 29

Figura 13: Proceso de separación Sin Microondas..... 30

Figura 14: Procedimiento de análisis para las muestras en el microscopio..... 31

Figura 15: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Guara-2. 36

Figura 16: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Guara-2. 37

Figura 17: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Acema-100..... 38

Figura 18: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Acema-100..... 39

Figura 19: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Merey-31. 40

Figura 20: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Merey-31.....	41
Figura 21: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Guara-2. .	43
Figura 22: Guara-2. a) Muestras irradiadas a un 25% del tiempo de exposición máxima. b) Muestras irradiadas a un 50% del tiempo de exposición máxima.....	44
Figura 23: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Acema-100.	46
Figura 24: Acema-100. a) Muestras irradiadas a un 25% del tiempo de exposición máxima. b) Muestras irradiadas a un 50% del tiempo de exposición máxima.	46
Figura 25: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Merey-31.	48
Figura 26: Merey-31. a) Muestra irradiada a un 25% del tiempo de exposición máxima. ..	48
Figura 27: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Guara-2.....	50
Figura 28: Guara-2. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia. b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.	51
Figura 29: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Acema-100.	52
Figura 30: Acema-100. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia. b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.	53
Figura 31: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Merey-31.	54
Figura 32: Merey-31. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia. b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.	55
Figura 33: Análisis SARA para las fosas de Producción. (García, Gómez, González, en ejecución).....	56
Figura 34: Peso molecular en función de la polaridad en el análisis SARA (García, 2009)	57

Figura 35: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Guara-2.	60
Figura 36: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Acema-100.....	60
Figura 37: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Merey-31.....	61
Figura 38: Guara-2. a) Sin aplicación de microondas. b) Luego de la irradiación con microondas.	63
Figura 39: Acema-100. a) Sin aplicación de microondas. b) Luego de la irradiación con microondas.	63
Figura 40: Merey-31. a) Sin aplicación de microondas. b) Luego de la irradiación con microondas.	63
Figura 41: Distribución acumulada de tamaño de gotas obtenida para las fosas, Guara-2, Acema-100 y Merey-31.....	65
Figura 42: Imágenes de las microemulsiones obtenidas. a) Guara-2. b) Acema-100. c) Merey-31.	66
Figura 43: Imágenes del tope de las muestras al final de la centrifugación. a) Guara-2. b) Acema-100. c) Merey-31.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje de agua contenido en cada una de las fosas. (Rodríguez, en ejecución).7	
Tabla 2: Datos obtenidos para los diferentes tiempos de exposición de la fosa Guara-2.....	33
Tabla 3: Resultados obtenidos luego de la centrifugación para la fosa Guara-2.....	33
Tabla 4: Relaciones volumétricas para la fosa Guara-2.	35
Tabla 5: Resultados obtenidos al determinar el punto de exposición máxima para las muestras de la fosa Acema-100.....	37
Tabla 6: Relaciones volumétricas para la fosa Acema-100.....	38
Tabla 7: Resultados obtenidos al determinar el punto de exposición máxima para las muestras de la fosa Merey-31.....	39

Tabla 8: Relaciones volumétricas para la fosa Merey-31.....	40
Tabla 9: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Guara-2.....	42
Tabla 10: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Guara-2.	43
Tabla 11: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Acema-100.....	45
Tabla 10: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Acema-100.....	45
Tabla 13: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Merey-31.....	47
Tabla 14: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Merey-31.....	47
Tabla 15: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Guara-2.....	49
Tabla 16: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Guara-2.....	50
Tabla 17: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Acema-100.....	51
Tabla 18: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Acema-100.....	52
Tabla 19: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Merey-31.....	53
Tabla 20: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Merey-31.....	54
Tabla 21: Resultados obtenidos del análisis SARA realizado a las fosas en estudio.....	56
Tabla 22: Descripción de parámetros utilizados. (Fung, 2011).....	58
Tabla 23: Resultados obtenidos del análisis de microscopía aplicando y sin aplicar Microondas.....	59
Tabla 24: Resultados obtenidos del análisis de las imágenes de las microemulsiones.....	64

INTRODUCCIÓN

La industria petrolera genera grandes desechos que producen un gran impacto ambiental, además de los recursos de valor agregado que son desperdiciados; en la búsqueda de una reducción de estos parámetros surge esta investigación, a fin de innovar implementando una nueva técnica de deshidratación de crudos asistida por radiación de microondas.

En el presente trabajo especial de grado se plantea un proceso por lotes (batch) a escala de laboratorio que permite conocer la influencia de la radiación de ondas electromagnéticas de microondas en muestras de crudos provenientes de diferentes fosas de producción ubicadas en Anzoátegui-Venezuela.

Para llevar esta investigación a cabo se consideran algunos elementos que definen el planteamiento del problema; además se citan algunas referencias a trabajos anteriores relacionados con el tema, los cuales fundamenten los objetivos específicos planteados, los cuales consisten en caracterizar el crudo según las normas ASTM, realizar un barrido de tiempo para encontrar el punto de máxima exposición, para luego realizar pruebas a distintos porcentajes de ese tiempo máximo. Para estudiar la influencia de la potencia de las microondas, se realizan pruebas a distintos niveles de la misma; también se analizará la cantidad de agua separada en cada experimento; estudiando también la distribución de tamaño de gota empleando la microscopía óptica, a fin de lograr cumplir con el objetivo general de estudiar el comportamiento de emulsiones agua-en-crudo bajo la influencia de las microondas, todo esto estará estructurado dentro del capítulo I del trabajo.

En el capítulo II se encuentra asociado el marco teórico, el cual expone gran parte del material bibliográfico consultado durante la investigación, el mismo contempla conocimientos, definiciones y teoría asociada a los conceptos tratados en este Trabajo Especial de Grado. Este capítulo permite la comprensión de parámetros empleados y considerados para alcanzar cada uno de los objetivos específicos.

Seguidamente se encontrará el marco metodológico en el capítulo III, el mismo será empleado para llevar a cabo los objetivos planteados, el mismo presenta un nivel de detalle amplio que permite comprender todo el proceso realizado en el laboratorio, el mismo se efectuará con el uso de un Microondas casero y se pretende encontrar el tiempo máximo de exposición de las muestras para luego repetir a porcentajes de tiempo preestablecidos, y por ultimo entender que papel desempeña la potencia en este proceso. Además se analizarán al microscopio todas las muestras.

Luego de se conocerán los resultados obtenidos durante la investigación en el capítulo IV con un análisis de los mismos, explicado con tablas de resultados, gráficos e imágenes que soportan dichas explicaciones. Se compararán las muestras sin irradiación de microondas y bajo la influencia de las mismas, analizando también la distribución de tamaño de gota y porcentaje de las mismas, ayudado por un software y herramientas de cálculo computacionales.

Seguidamente se presentarán las conclusiones obtenidas, fundamentadas principalmente en los objetivos planteados, dando paso así a las recomendaciones sugeridas para posteriores investigaciones relacionadas o para la continuación y /o ampliación de la misma.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se muestran los puntos que dieron origen al inicio de esta investigación, así como también los objetivos, tanto el general como los específicos, que se desean alcanzar en la misma.

I.1 – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por décadas, los desechos de las actividades de explotación y producción se han depositado en excavaciones adyacentes a los pozos donde se han almacenado millones de barriles de crudo, mezclados principalmente con agua y sólidos finos, formando una mezcla, conocida como emulsión, de difícil separación debido esencialmente a la gran cantidad de estabilizantes presentes, conocidos también como emulsificantes o agentes tensoactivos, a su envejecimiento y a su oxidación. Estas se conocen como fosas de producción. A nivel nacional, las fosas de producción originan un grave problema tanto a nivel ambiental como a nivel de producción, debido a la acumulación de material, que por sus características es imposible de aprovechar sin tratamiento de separación previo; tratamiento requerido por razones económicas y operacionales que ayudan a reducir la corrosión en la línea de tuberías y maximizar el uso de las mismas. (Taylor, 1992; Harris, 1996).

En las mezclas presentes en las fosas de producción, una parte del agua contenida es fácilmente separable del hidrocarburo por acción de la gravedad (aguas superficiales). Sin embargo, hay otra parte de agua que se encuentra íntimamente combinada con el hidrocarburo en forma de una emulsión (agua emulsionada) de gotas acuosas dispersas en el crudo, llamada emulsión agua-en-aceite (W/O) (Marfisi y Salager, 2004). La separación de este sistema es más difícil, debido a factores estabilizantes presentes en estas mezclas como sólidos, emulsionantes naturales y/o químicos, como los asfaltenos, resinas y/o ácidos nafténicos (Xia, Lu y Cao 2002; Mutyala, Fairbridge, Paré, Bélanger, Ng, y Hawkings, 2010; Marfisi, 2005).

Entre los procesos de deshidratación de crudo que existen, se tienen:

- El **calentamiento directo**, el cual consiste, en calentar el crudo mediante equipos de intercambio de calor que reducen la viscosidad de la fase continua, aumentan la colisión de las gotas de agua, disminuye la adsorción de agentes estabilizantes y debilita la película interfacial, pero puede tener como desventajas aumenta los costos de combustible, incrementa los riesgos en las instalaciones y causa depósitos de coque y sales. (Marfisi et. al., 2004).
- La **mezcla con solventes químicos**, estos debilitan la película interfacial generando la coalescencia de las gotas de agua. (Smith y Arnold, 1993).
- **Calentamiento con adición de demulsificante**, es una mezcla de los dos procesos descritos anteriormente, que pretende aumentar la velocidad de coalescencia de las gotas de agua. Este proceso supone un costo operacional más elevado. (González, 2004)
- **Aplicación de sistema electrostático**, donde las fuerzas generadas hacen que la gota migre hacia el electrodo de carga opuesta y se inicie entonces el contacto con otras gotas. En un campo D.C. (corriente directa), las gotas migrarán en un patrón continuo con una velocidad determinada por la viscosidad de la fase continua. Las gotas gradualmente perderán su carga, dependiendo del tiempo de relajación de la fase continua. En el caso de corriente continua (A.C.), una gota cargada tenderá a oscilar en una posición media entre los electrodos En un campo D.C. (corriente directa) (Marfisi et. al., 2004). Por diversos fenómenos ocurridos en este proceso como la polarización de las gotas, estas se estiran, debilitando así la película protectora del surfactante, promoviendo la coalescencia de las gotas cuando chocan entre ellas y además pegan a los electrodos donde luego drenan hacia abajo. (Eow y Ghadiri, 2000-2001).

Estas técnicas suponen costos energéticos y operacionales muy elevados. Es por ello que surge como nueva tecnología de desestabilización de emulsiones de crudos la exposición a radiación de microondas, debido a la búsqueda de técnicas donde se minimicen costos. Esta técnica permite calentar, gracias al principio de las microondas basado en la vibración molecular y la resistencia iónica, y además permite disminuir la película protectora del agua emulsionada debido al incremento de la presión interna de las pequeñas gotas de agua, entre otros factores; dicha película posee una tensión superficial relativamente alta, siendo la razón principal de la estabilidad de estas emulsiones,

combinado con la cantidad de emulsionantes o agentes tensoactivos contenidos en el crudo (Xia et. al., 2002).

Por lo tanto, se planteó el siguiente estudio de aplicación de microondas, a fin de favorecer la coalescencia de las pequeñas gotas acuosas sin agregar aditivos químicos y en un corto período de tiempo, pretendiendo también establecer un proceso en el cual el gasto energético sea relevantemente menor a otros métodos de deshidratación existentes.

I.2 ANTECEDENTES

En este capítulo se mencionarán algunos trabajos de investigación relacionados con el tema, que servirán como base teórica y aportes esenciales para el desarrollo de este proyecto.

- **Klaila (1978) y Wolf (1986):** Fueron los primeros inventores que introdujeron el concepto desemulsificación por microondas en trabajos patentados (Patent No. 4067683 y Patent No. 4582629, respectivamente). En dichas patentes mencionan este concepto como posible factor desestabilizador de emulsiones.
- **Fang y Lai (1994):** *“Calentamiento y separación de emulsiones agua-en-aceite por microondas”*.

Preparan emulsiones de aceite de motor con agua destilada, colocando las termocuplas en tres (3) sectores distintos del plato giratorio del microondas; se aplican varios tiempos de radiación. Obtienen que el calentamiento es uniforme en las termocuplas independientemente de la posición que ocuparan sobre el plato giratorio, y además que el porcentaje de separación de agua, fue mayor para las muestras con una mayor cantidad de tiempo sometidas a microondas. Concluyen que el calentamiento por microondas provee una nueva opción de ruptura de emulsiones W/O y mejora la sedimentación por gravedad, para separar en capas de agua y aceite. Aseguran que este método puede ser importante para separar emulsiones W/O viscosas y estables que son difíciles de bombear y mezclar con químicos demulsificantes. Pequeños gradientes de temperatura a través del cuerpo de las emulsiones irradiadas, prueban que las emulsiones viscosas son calentadas más rápidamente y uniformemente por microondas que por métodos tradicionales convectivos, proporcionando así una rápida separación W/O.

- **Xia, Lu, Cao (2002): “Estabilidad y Desemulsificación de emulsiones estabilizadas por Asfaltenos o Resinas”.**

Establecen que surfactantes naturales, tales como resinas y asfaltenos, aparentemente promueven la estabilidad de las emulsiones, pues forman una película altamente viscosa o rígida en la interfase agua-aceite. Preparan emulsiones con querosén de Jet como fase oleosa, agua destilada como la acuosa y como surfactantes utilizan resinas y asfaltenos obtenidos de crudos. Se aplica microondas para la ruptura de estas emulsiones y calentamiento convencional en un baño de aceite a 90°C, para comparar. Obtienen resultados impactantes, en el que la fase acuosa se separa de la oleosa en 120 segundos aplicando microondas y con calentamiento convencional tras haber pasado una hora de reposo, las fases no estaban 100% separadas. Concluyen que este estudio puede sugerir un posible enfoque para minimizar emulsiones en refinerías. Comparado con el calentamiento convencional, la radiación de microondas puede mejorar la tasa de desemulsificación. Teniendo la concentración de asfaltenos y resinas que aquí se utilizan, se puede alcanzar una separación del 100 % del agua en muy corto tiempo con la aplicación este método.

- **Chan y Chen (2002): “Desestabilización de emulsiones W/O por radiación de microondas”.**

Pretendían desestabilizar emulsiones para el proceso de “emulsión de membrana líquida” (ELM, por sus siglas en inglés). Aplican Microondas para romper emulsiones agua en aceite (W/O). Prepararon emulsiones con relación W/O=1. Luego de preparadas se dejaron reposar durante unos minutos. Utilizan un microondas comercial, manejando cuatro tipos de potencia de salida (240, 420, 560, y 800 W). Colocan una alícuota de la emulsión en un beaker, el cual fue colocado siempre en el mismo lugar del plato giratorio del microondas para eliminar diferencias de calentamiento debido a ondas estacionarias (standing waves). Luego de la exposición a microondas, las muestras fueron colocadas en cilindros graduados, para realizar las mediciones. Aseguran que este tipo de emulsiones preparadas, son consideradas usualmente como un sistema difícil de separar por métodos convencionales. Obtienen que a la menor potencia de 240 W no se observa

separación alguna; a partir de la potencia de 420 W, es que se percibe la separación de fases, y que una radiación mayor a 6 segundos es requerida para ello, pero una mayor a 15 segundos produce la ebullición de la muestra. Los resultados de esta investigación, muestran que la radiación de microondas, es una técnica de calentamiento dieléctrico con las características de ser rápida, volumétrica, y selectiva; es factible y potencialmente utilizable como alternativa en los procesos de desemulsificación. Esta nueva tecnología de separación no requiere aditivos químicos ni alto voltaje eléctrico.

- **Padrón y Zúñiga (2005)** *“Aplicación de la técnica de microscopía óptica para la caracterización de sistemas dispersos formados por crudo, agua y sólidos”*.

En este trabajo de grado, proponen un método de caracterización de las fosas de producción Acema-100, Guara-2 y Merey-31 (San Tomé, Edo. Anzoátegui). Utilizan para este trabajo la técnica de microscopía óptica, para así poder determinar la distribución del tamaño de gota y además la cantidad de agua en forma de gotas aglomeradas y gotas no aglomeradas, así como también los residuos presentes en estas muestras. Obtienen un material de gran importancia, ya que proponen valores cercanos a los reales que se emplearán para establecer comparaciones importantes con los datos obtenidos.

- **Mutyala, Fairbridge, Paré, Bélanger, Ng y Hawkings (2009):** *“Aplicaciones de microondas a las arenas bituminosas y petróleo: Una reseña”*.

Realizan una investigación profunda acerca de procesos de desemulsificación asistida con microondas para ser aplicados en la industria petrolera. Entre los muchos aspectos planteados por estos investigadores, establecen que las moléculas tensoactivas que estabilizan las emulsiones W/O en el crudo son largas cadenas alifáticas que poseen extremos hidrofílicos y lipofílicos, así como también moléculas con múltiples anillos aromáticos. Una de las moléculas más importantes con respecto a la estabilidad de las emulsiones en el crudo son los ácidos nafténicos, pues poseen una zona polar y una apolar, actuando así como un surfactante. El extremo polar absorbe las microondas, éste trata de seguir el rápido cambio del campo hacia ambas direcciones, produciendo así que el extremo hidrofílico sea arrancado de la molécula. Provocando una interrupción en la estrecha asociación de

las moléculas del surfactante, por lo tanto se debilitará o destruirá la habilidad para mantener la interfase O/W. En la figura 1 se puede apreciar la estructura de estos ácidos en las emulsiones.

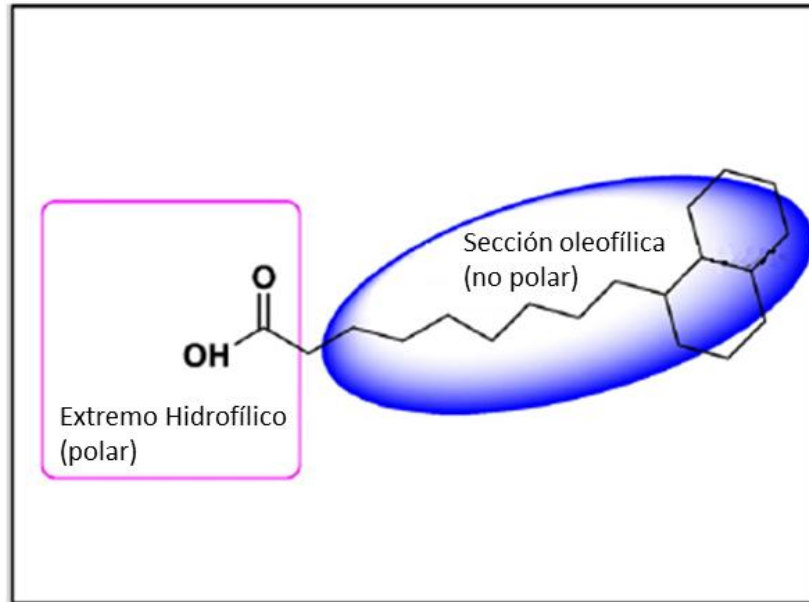


Figura 1: Estructura del Ácido Nafténico en emulsiones W/O. (Mutyala, et al., 2009)

- **Kuo y Lee (2010):** *“Tratamiento de emulsiones O/W usando agua de mar asistido por microondas”.*

Tenían como objetivo examinar la desemulsificación de varias muestras, aplicando irradiación de microondas luego de haberles agregado una solución de agua de mar artificial. Bajo tres variables: la concentración de la solución de agua de mar, el tiempo de irradiación y el tiempo de asentamiento. Obtienen que a mayor cantidad de solución salina, mayor es el porcentaje de separación; al igual que las muestras que fueron expuestas a microondas, arrojan porcentajes de separación mayores. Concluyendo que las sales agregadas, al ser sometidas a microondas, incrementan la conductividad iónica en la fase acuosa, lo que se traduce en un aumento en mayor proporción en el calentamiento y reducirá el grosor de la capa protectora interfacial.

- **Abdulari, Abdurahman, Rosli, Mahmood y Azhari (2011):** *“Desemulsificación de emulsiones de petróleo usando un método de separación por microondas”.*

En su investigación preparan emulsiones con dos tipos de crudos, uno de un yacimiento de Irán y el otro de Malasia, utilizan agua destilada como fase acuosa.

Estudian la formación, producción y estabilización de las emulsiones con cantidades variables de agua, y luego examinan la ruptura de estas utilizando microondas. Se exponen las emulsiones de ambos crudos a diversos tiempos, una potencia fija y comparan los resultados con la separación del agua de las mismas por gravedad (sin exposición a microondas). Los resultados mostraron que con radiación de microondas la separación de agua para ambos crudos era mayor y más rápida que sin aplicarlas. Con estos resultados, concluyen que el microondas tiene la característica de aportar un rápido y volumétrico calentamiento, aumentando la separación de las emulsiones sin requerimiento de aditivos químicos.

- **Rodríguez (en ejecución): “Desestabilización electrostática de emulsiones en fosas de producción”**

Parte de este estudio, involucra la caracterización de las fosas de producción Acema-100, Guara-2 y Merey-31, desde el punto de vista del contenido de agua presente en las mismas. Para ello empleó la norma ASTM D-4006: Determinación del agua en crudo por destilación, y obtuvo los valores presentados en la Tabla 1. Estos datos servirán de base para realizar los cálculos del porcentaje de separación de agua y se compararán con los obtenidos en el trabajo de Padrón y Zúñiga. Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla 1: Porcentaje de agua contenido en cada una de las fosas. (Rodríguez, en ejecución).

Fosa	Porcentaje de Agua total (% v/v)
Acema-100	37
Guara-2	38
Merey-31	16

I.3 – OBJETIVOS

A continuación se presenta el objetivo general de esta investigación y los objetivos específicos que permitirán alcanzar satisfactoriamente el mismo.

I.3.1. Objetivo General

Estudiar el comportamiento de emulsiones agua-crudo en el material de distintas fosas (Acema-100, Guara-2 y Merey-31) al ser sometidas a radiación de microondas.

I.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterización del crudo mediante las normas ASTM (ASTM D2007-01, Fraccionamiento SARA del crudo), (Deshidratación de crudos), (ASTM D4007-11, Determinación de agua y sedimentos en el crudo por centrifugación).
2. Realizar un barrido de tiempo, con la finalidad de determinar el punto de exposición máxima de las muestras.
3. Realizar pruebas a distintos porcentajes de tiempo de exposición, para determinar el comportamiento y separación de las muestras en función del tiempo de residencia.
4. Realizar pruebas a diferentes niveles de potencia, para estudiar la influencia de la potencia sobre el comportamiento de las muestras y el porcentaje de separación.
5. Comparar y analizar el porcentaje de separación de agua obtenido entre las muestras sin aplicación de microondas y las mismas sometidas a esta radiación.
6. Determinar, comparar y analizar la distribución del tamaño de gota, con la finalidad de apreciar la influencia de las microondas en la coalescencia de las gotas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 Fosas de Producción

Son excavaciones que se realizan en el terreno para depositar los residuos generados de la actividad petrolera. Se encuentran ubicadas cerca de la estación de producción, en donde se almacena crudo fuera de especificaciones. Algunas fosas de producción son de gran tamaño, y en ellas se encuentra depositado un volumen considerable de crudo recuperable, éstas son llamadas macrofosas de producción. (Padrón y Zúñiga, 2005).

En las operaciones de producción de petróleo, desde la perforación de pozos hasta la obtención final del crudo, se genera una gran cantidad de residuos líquidos (agua+crudo) junto a sólidos que han sido depositados en fosas, donde se encuentran almacenados volúmenes importantes de crudo, que con el paso de los años han producido un crudo muy viscoso, envejecido, oxidado y difícil de tratar. Estas macrofosas representan un fuerte impacto sobre el ambiente, ya que la exposición a la atmósfera de estos hidrocarburos produce la evaporación de los compuestos volátiles contaminando al aire; los suelos donde se encuentran dichas lagunas son impactados negativamente, y existe posibilidad de infiltración hacia cursos de aguas subterráneas, además de que ocupan cantidades importantes de terreno. (Méndez, 2005).

II.2 Surfactantes

Un surfactante es una sustancia química, que por la doble afinidad que le confiere su estructura molecular, está constituida por una parte polar (hidrofílica) y otra apolar (lipofílica), tiene actividad interfacial y se adsorbe a una interfase líquido/líquido de forma orientada, con lo cual disminuye la tensión superficial.

La parte polar del surfactante es en general un grupo funcional que contiene átomos altamente electronegativos, los más comunes son los grupos carboxilato, sulfonato, sulfato, amonio y fosfato. La parte apolar es una cadena de tipo alquilo o alquilo-arilo, con 2 a 20 átomos de carbono.

Entre las propiedades más importantes de los surfactantes están su carácter anfílico (afinidad por las sustancias polares y apolares), su capacidad de ubicarse en una interfase según el fenómeno de adsorción, y su capacidad de asociarse para formar micelas. (Marfisi, 2005).

II.3 Surfactantes naturales

Los surfactantes naturales se definen como macromoléculas con actividad interfacial que tienen un alto contenido de aromáticos y por lo tanto, relativamente planas con al menos un grupo polar y colas lipofílicas, con actividad interfacial. Estas moléculas pueden apilarse en forma de micelas. Se forman de las fracciones ácidas de asfaltenos, resinas, ácidos nafténicos y materiales porfirínicos. Estos surfactantes pueden adsorberse en la interfase de la gota de agua y formar una película rígida que resulta en una alta estabilidad de la emulsión W/O. La estructura de un asfalteno puede observarse en la figura 2.

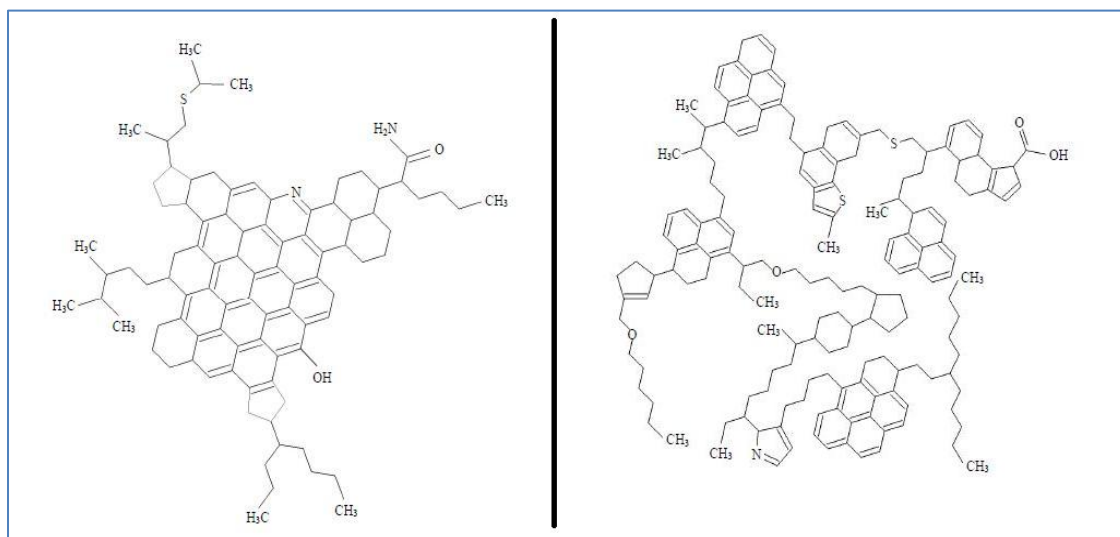


Figura 2: Modelos de estructuras moleculares de Asfaltenos. (Marfisi y Salager, 2004).

II.4 Emulsión

Dos líquidos inmiscibles pueden formar, cuando son sometidos a una agitación mecánica, una dispersión de pequeñas gotas de uno (llamado fase interna o dispersa) en otro (llamado fase externa o continua). Este fenómeno produce un aumento importante del área interfacial. En presencia de un surfactante, éste se adsorbe en la interfase líquido –

líquido, reduciendo la tensión interfacial y formando una barrera eléctrica, estérica y mecánica alrededor de las gotas. La dispersión así estabilizada, es llamada emulsión, cuya estabilidad puede variar desde unos segundos hasta años.

Para lograr la formación de gotas y dispersión en el crudo, es necesario suministrarle al sistema una cierta cantidad de energía de formación $\Delta G(f)$; este valor de energía libre de Gibbs es positivo, lo que significa que el proceso de formación de esta emulsión es un proceso no espontáneo. Como el proceso de emulsificación no es espontáneo, las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, por lo que debe existir una barrera de energía que se oponga al rompimiento (separación de fases); esto implica que las emulsiones son estables, sólo desde el punto de vista cinético.

Generalmente, se habla de emulsión para referirse a una macroemulsión en la cual el diámetro promedio de las gotas varía entre 0.2 y 50 μm . Una emulsión generalmente está compuesta de una fase acuosa (llamada W por “water”) y de una fase aceite u orgánica (llamada O por “oil”), y según las condiciones fisicoquímicas y las condiciones de experimentación se pueden obtener diversos tipos. El tipo de emulsión presente en el crudo es W/O, es decir, gotas de agua dispersas en una fase continua de aceite. (López 2004).

II.5 Estabilidad de las emulsiones

Las emulsiones son estabilizadas por la formación de una película interfacial con surfactantes, debido a las siguientes causas:

- Aumenta la tensión interfacial. Por lo general, para emulsiones de crudo la tensión interfacial es de 30 a 36mN/m. La presencia de sales también aumenta la tensión interfacial.
- Forman una barrera viscosa que inhibe la coalescencia de las gotas. Este tipo de película ha sido comparada con una envoltura plástica.
- Si el surfactante o partícula adsorbida en la interfase es polar, su carga eléctrica provoca que se repelan unas gotas con otras.

Un segundo mecanismo de estabilización ocurre cuando los emulsionantes son partículas sólidas muy finas. Para ser agentes emulsionantes, las partículas sólidas deben ser más pequeñas que las gotas suspendidas y deben ser mojadas por el aceite y el agua. Luego estas finas partículas sólidas o coloides (usualmente con surfactantes adheridos a su

superficie) se colectan en la superficie de la gota y forman una barrera física. En la figura 3 se puede apreciar diferentes elementos que favorecen la estabilización de una gota de agua en crudo.

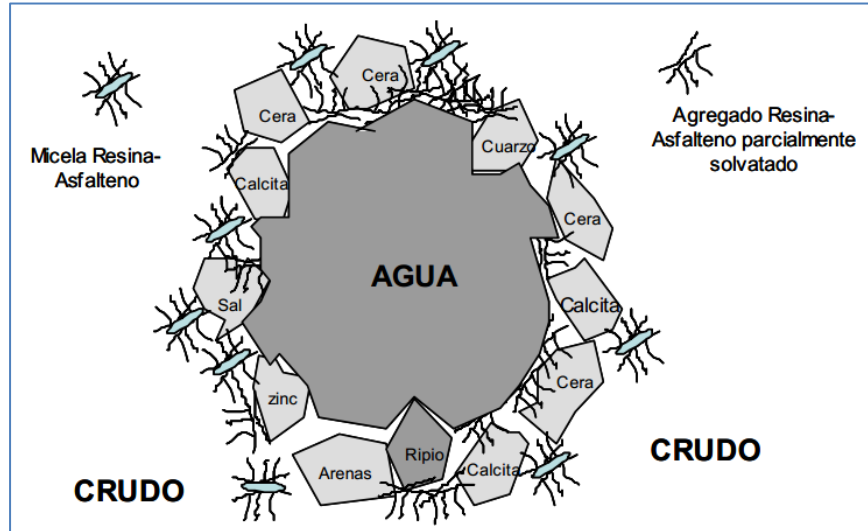


Figura 3: Representación gráfica de la estabilización de una gota de agua por agentes emulsionantes presentes en el crudo. (Marfisi y Salager, 2004).

Una emulsión es inestable por definición, y su estabilidad está determinada por la velocidad de separación de fases, el cual es un fenómeno irreversible. La velocidad de separación está directamente relacionada con la estabilidad de la delgada película de líquido que separa a las gotas dispersas y en la factibilidad de retardar o evitar el drenaje de la película intergota, sobre lo cual contribuyen significativamente las fuerzas de London-Van der Waals, las fuerzas electrostáticas y las fuerzas de corto alcance.

El aumento de la colisión entre gotas ayuda a desestabilizar las emulsiones, cuando ocurre la colisión entre gotas, pueden ocurrir varios comportamientos dependiendo de las propiedades de la película intergota. Si las fuerzas repulsivas son predominantes, las dos gotas rebotarán, por lo que la emulsión es estable. Si la película es suficientemente estable, se forman flóculos. Cuando las interacciones atractivas a través de la película son predominantes, la película no es estable y se rompe, lo cual conduce a la coalescencia de las gotas dispersas. Como puede observarse en la figura 4.

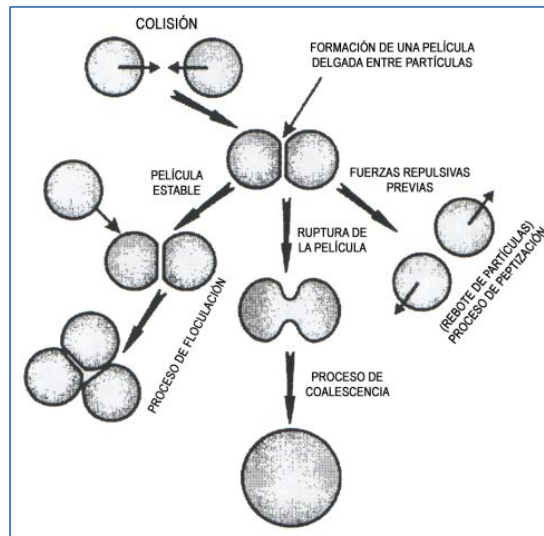


Figura 4: Posibles resultados de la colisión de dos gotas de agua en una emulsión W/O. (López, 2004).

II.6 Coalescencia

Este proceso implica la unión de varias gotas para formar otras más grandes, lo que finalmente conduce a la separación de las fases. Para que se produzca la coalescencia, es necesario que la película interfacial que rodea las gotas, así como la monocapa de surfactante adsorbida sobre la superficie de las mismas sufran un completo deterioro. (López, 2004).

II.7 Propiedades que intervienen en la estabilidad de una emulsión

El rompimiento de la emulsión depende de las siguientes propiedades:

- *Tensión interfacial.* Una reducción de la tensión interfacial no es suficiente para disminuir la estabilidad de la emulsión. Las resinas pueden reducir la tensión interfacial (IFT) a los valores cerca de 15mN/m. Mientras que los asfaltenos la reducen en 25mN/m como valor límite. El valor para el petróleo crudo es del orden de 30mN/m, lo cual revela que hay otros componentes que influyen en la IFT además de las resinas y asfaltenos.
- *Viscosidad de la fase externa.* Una viscosidad alta en la fase externa disminuye el coeficiente de difusión y la frecuencia de colisión de las gotas, por lo que se incrementa la estabilidad de la emulsión. Una alta concentración de las gotas

también incrementa la viscosidad aparente de la fase continua y estabiliza la emulsión. Este efecto puede ser minimizado calentando la emulsión.

- *Tamaño de la gota.* Gotas muy pequeñas menores de $10\mu\text{m}$, generalmente producen emulsiones más estables. Una amplia distribución de tamaños de partículas resulta en general en una emulsión menos estable.
- *Relación de volumen de fases.* Incrementando el volumen de la fase dispersa se incrementa el número de gotas y/o tamaño de gota y el área interfacial. La distancia de separación se reduce y esto aumenta la probabilidad de colisión de las gotas. Todos estos factores reducen la estabilidad de la emulsión.
- *Temperatura.* Incrementando la temperatura se reduce la adsorción de surfactantes naturales y disminuye la viscosidad de la fase externa, la rigidez de la película interfacial y la tensión superficial. Todos estos cambios reducen la estabilidad de la emulsión.
- *pH.* La adición de ácidos o bases inorgánicos cambia radicalmente la formación de películas de asfaltenos y resinas que estabilizan las emulsiones agua-aceite. Ajustando el pH se puede minimizar la rigidez de la película que estabiliza la emulsión y aumentar la tensión superficial.
- *Envejecimiento de la interfase.* A medida que la interfase envejece la adsorción de los surfactantes se completa y debido a las interacciones laterales entre las moléculas aumenta la rigidez de la película hasta un valor estable. Además, la cantidad de agentes emulsionantes se incrementa por oxidación, fotólisis, evaporación o por la acción de bacterias.
- *Salinidad de la salmuera.* Agua fresca o salmuera con baja concentración de sal favorecen la estabilidad de las emulsiones. Por el contrario, altas concentraciones de sal tienden a reducirla.
- *Presencia de cationes.* Los cationes divalentes como calcio y magnesio tienen tendencia a producir una compactación de las películas adsorbidas, probablemente por efecto de pantalla electrostática de un lado, y por otro, la precipitación de sales insolubles en la interfase.
- *Propiedades reológicas interfaciales.* Generalmente, cuando una interfase con moléculas de surfactantes adsorbidas se estira o dilata se generan gradientes de

tensión. Los gradientes de tensión se oponen al estiramiento e intentan restaurar la uniformidad de la tensión interfacial. Como consecuencia, la interfase presenta una cierta elasticidad. Éste es el efecto llamado Gibbs-Marangoni. (Marfisi y Salager, 2004)

II.8 Deshidratación de Crudos

La deshidratación de crudos es el proceso mediante el cual se separa el agua asociada con el crudo, ya sea en forma emulsionada o libre, hasta lograr reducir su contenido a un porcentaje previamente especificado; generalmente, este porcentaje es igual o inferior al 1% de agua.

Una parte del agua producida por el pozo petrolero, llamada agua libre, se separa fácilmente del crudo por acción de la gravedad, tan pronto como la velocidad de los fluidos es suficientemente baja. La otra parte del agua está íntimamente combinada con el crudo en forma de una emulsión de gotas de agua dispersadas en el aceite, la cual se llama emulsión agua/aceite (W/O) (Marfisi y Salager, 2004).

La presencia de agua en el crudo es indeseable, no sólo porque es una impureza sin valor, sino más bien porque el agua contiene sales inorgánicas tales como cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, calcio o magnesio, que pueden provocar corrosión en las instalaciones de transporte y refinación. Durante la destilación, los cloruros (especialmente el de magnesio) pueden hidrolizarse para formar HCl; tal reacción es acentuada por la presencia de sustancias orgánicas ácidas. Los carbonatos y los sulfatos producen depósitos en los intercambiadores de calor, reduciendo la eficiencia de estos equipos.

Existen varias razones para realizar la deshidratación, así como un posterior proceso de desalación:

- Las especificaciones de los compradores es de un contenido máximo permisible de agua y sedimentos, cuyos límites varían de 0.1 a 3%.
- El crudo se compra y se vende basado en °API, el agua origina una disminución de la gravedad °API, por lo que reduce su precio de venta.
- El crudo emulsionado incrementa los costos de transporte, debido a la necesidad de movilizar un volumen ocupado por agua sin valor comercial.
- La viscosidad del crudo se incrementa con un mayor contenido de agua dispersa.

- Las sales minerales presentes en el agua (de producción) ocasionan corrosión en los equipos de producción, tuberías y tanques de almacenamiento.

En la práctica se utiliza una combinación de métodos químicos y físicos en el tratamiento de las emulsiones. Los métodos físicos, tales como eléctricos, térmicos y gravitacionales, tienen como finalidad incrementar la frecuencia en la colisión entre las gotas, mientras que los métodos químicos intentan hacer la estabilidad de la película entre gotas, suficientemente débil para disminuir la resistencia a la coalescencia. Los demulsificantes químicos o deshidratantes, son compuestos que reducen la tensión interfacial entre el agua y el crudo, debilitando la película interfacial y generando la coalescencia entre las gotas de agua. Se utilizan productos químicos específicos para desestabilizar las emulsiones de agua en crudo y promover la coalescencia de las gotas. (López, 2004).

II.9 Microondas

Las microondas son ondas de energía electromagnética invisibles y muy cortas que viajan a la velocidad de la luz (186,282 millas por segundo) (Gallawa, 2000). Son parte del espectro electromagnético y su región se encuentra entre las ondas de radio y las de radiación infrarrojo del espectro electromagnético, como se muestra en la figura 5.

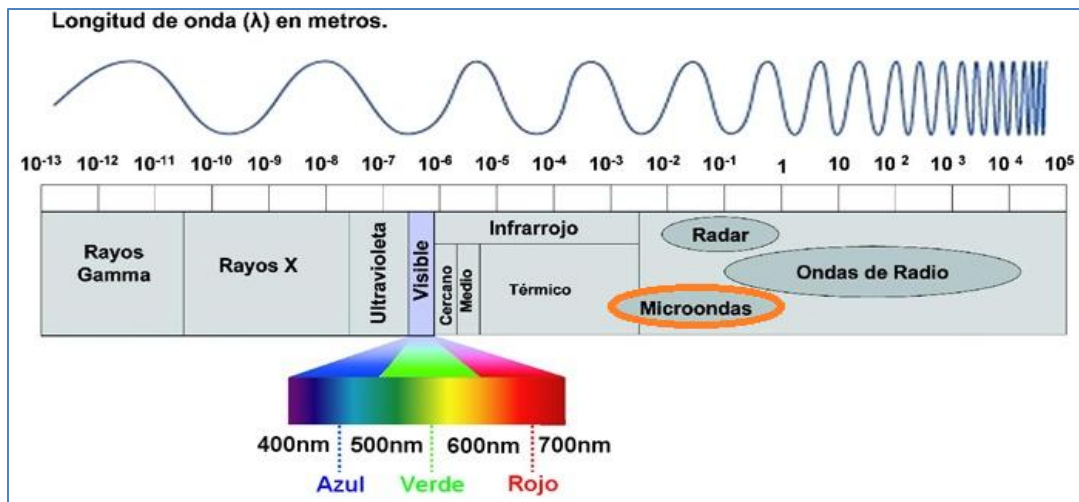


Figura 5: Espectro Electromagnético. (Fernandez, 2010)

Estas viajan en línea recta y pueden ser reflejadas, transmitidas o absorbidas a lo largo del camino y tienen como característica principal producir cambios en la rotación molecular y en la movilidad iónica del medio sin alterar la muestra.

El corazón del horno microondas es el magnetrón, un oscilador que convierte el pulso de alto voltaje en un pulso de potencia microonda. Las microondas entran en un guía de ondas cuyas paredes reflectoras permiten la transmisión de la radiación desde el magnetrón hasta la cavidad del equipo microondas. La cavidad del microondas es una especie de caja donde las microondas interactúan con el sistema. (Fini y Breccia, 1999). Las partes de un horno microondas pueden observarse a continuación en la figura 6.

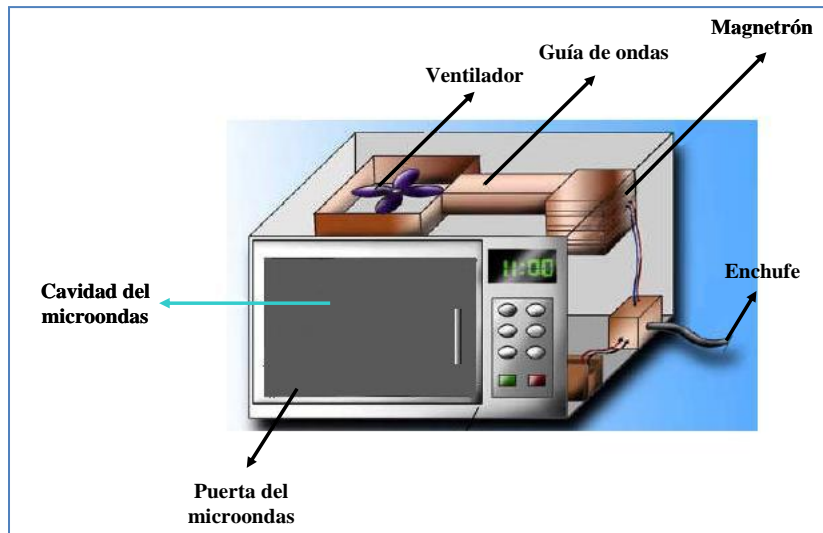


Figura 6: Partes del Horno Microondas. (Bastidas, 2008)

El magnetrón genera las microondas combinando los campos magnéticos y eléctricos que son perpendiculares entre sí, como se muestra en la figura 7. El campo eléctrico es creado por un ánodo interno y un cátodo externo, con una gran diferencia de potencial entre ellos. El campo magnético es impuesto por imanes permanentes localizados generalmente en la parte inferior del magnetrón. Los electrones en este ambiente viajan desde el cátodo en un camino en forma de espiral hacia afuera para finalmente llegar al ánodo; a medida que los electrones pasan por las cajas de resonancia, estos liberan energía; ésta es liberada por una antena en forma de microondas, las cuales son guiadas hacia la cavidad donde se encuentra la sustancia a irradiar.

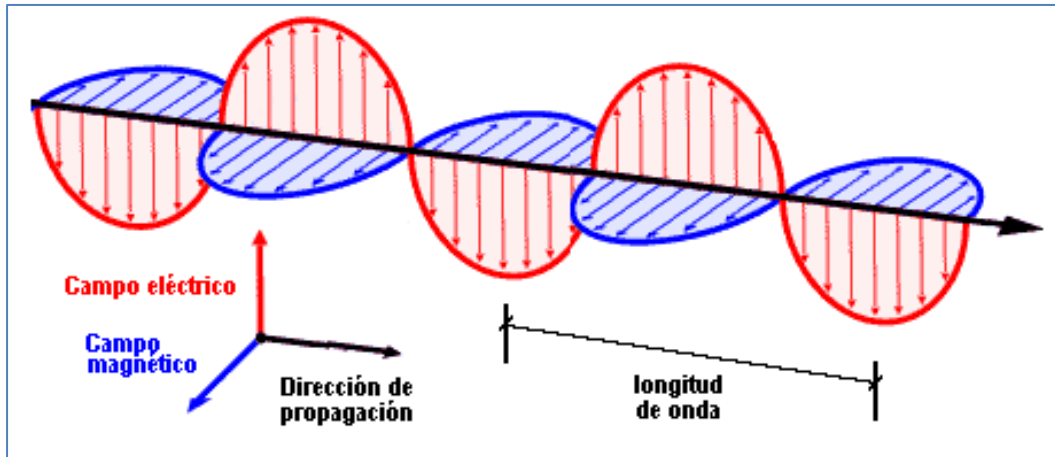


Figura 7: Ondas electromagnéticas. Combinación de ondas de campo magnético y campo eléctrico.
(García, 2011)

Existen dos mecanismos asociados con el calentamiento microondas: rotación dipolar y conducción iónica. Cuando una molécula es irradiada con microondas, ésta intentará alinearse con el campo eléctrico por rotación. Si la frecuencia de rotación molecular es similar a la frecuencia de irradiación microondas 2,45GHz la molécula continuamente se alineará y realineará con el campo oscilatorio, entonces, la energía eléctrica es absorbida por la molécula. Es obvio que compuestos con constantes dieléctricas altas tienden a absorber energía fácilmente bajo irradiación microondas, mientras que sustancias con menor polaridad o compuestos con ningún momento dipolar neto son inactivos al microondas. El segundo mecanismo, es la conducción iónica, el cual también contribuye al efecto del calentamiento por microondas, siempre y cuando los iones se encuentren involucrados en la muestra. Cuando los iones se desplazan a través de la muestra bajo un campo aplicado, se genera calor por pérdidas de fricción, que dependen del tamaño, carga y conductividad de los iones, convirtiendo la energía cinética en calor. (Liu, 2002).

II.10 Fraccionamiento S.A.R.A.

El análisis S.A.R.A. consiste en determinar la composición del crudo en cuanto a Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos en un porcentaje másico. Existen muchas variantes del análisis identificado por el acrónimo S. A. R. A. aunque no todos dan resultados equivalentes. La primera etapa del fraccionamiento, consiste en la remoción de la fracción asfalteno en forma cuantitativa.

Los asfaltenos del petróleo se separan y cuantifican por precipitación con diferentes solventes de hidrocarburos, usualmente n-parafinas. Los asfaltenos se definen como la porción del crudo insoluble en n-alcanos livianos, pero solubles en solventes aromáticos (Tolueno). La cantidad, composición química y distribución de masa molecular del asfaltano obtenido depende de la fuente del crudo y del método de precipitación. Asfaltenos y resinas están asociados por medio de uniones hidrogeno intermoleculares, la adición del solvente precipitante probablemente rompe estas asociaciones, liberando y precipitando los asfaltenos. Las resinas, junto al resto del petróleo, constituyen los maltenos que permanecen solubles en el solvente precipitante.

Luego de separados los asfaltenos, los caminos analíticos más difundidos son tres:

1. Cromatografía en columna abierta de adsorción en arcilla – gel descrita en la Norma ASTM D2007–93.
2. Cromatografía líquida de alta presión (HPLC) con detector de Índice de Refracción.
3. Cromatografía en capa delgada (TLC), este método no requiere separación previa de los asfaltenos.

Luego de estos procesos, se obtiene el porcentaje másico de cada uno de los compuestos.

II.11 Microscopía Óptica.

El microscopio, es un instrumento óptico destinado a observar una imagen aumentada de objetos minúsculos o detalles muy pequeños de los mismos, la combinación de sus lentes produce el efecto de que lo que se observa aparezca con dimensiones extraordinariamente aumentadas, haciéndose perceptible lo que no lo es a simple vista.

Al incorporar una cámara de video al microscopio, surge la técnica de la video-microscopía, la cual combina el poder de magnificación de un microscopio con la capacidad de adquisición de imágenes de la cámara de video. De una imagen o serie de imágenes, se obtiene un conjunto de datos con información de la muestra. Para el caso donde la muestra es una emulsión, la información típica que se puede encontrar en las imágenes es el estado de la muestra, geometría y dispersión, tamaño de partícula y concentración. Series de imágenes o video continuo suministran información sobre las

interacciones y cinética de las gotas de procesos importantes dentro de las emulsiones, como floculación, percolación y coalescencia, los cuales son parámetros fundamentales para el entendimiento del comportamiento de la emulsión y la estabilidad de la misma, frente a un campo eléctrico. Es por ello que, la video-microscopía se relaciona con las técnicas de análisis de imágenes, realizadas frecuentemente con la ayuda de un computador. El software de análisis de imágenes hoy en día provee un amplio rango de funciones analíticas, con la adición del mejoramiento de la calidad de la imagen previa a su análisis (Fung, 2011).

II.12 Distribución acumulada de tamaños de partículas.

La curva de distribución acumulada es una representación de la fracción o porcentaje de las partículas que se encuentran por debajo o por encima de cierto tamaño. Una vez obtenidos los datos acumulados de la cantidad relativa de partículas que pertenecen a cada rango de tamaño, se puede decir que $Fr(x_i)$ representa la cantidad relativa de partículas más grandes (o más pequeñas) que x_i (Sorrentino, 2002)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección, se muestra el procedimiento experimental llevado a cabo para lograr el cumplir con el objetivo general y los específicos de este trabajo. El marco metodológico consta de varias partes comenzando por el proceso de lavado de los tubos de vidrio (zanahorias), el proceso de deshidratación sometido a microondas y el mismo proceso pero sin aplicación de la radiación microondas.

En primer lugar se muestra en la figura 8, un esquema general que agrupa todo el procedimiento experimental de forma resumida y posteriormente se explicara en detalle cada uno de los bloques que lo integran.

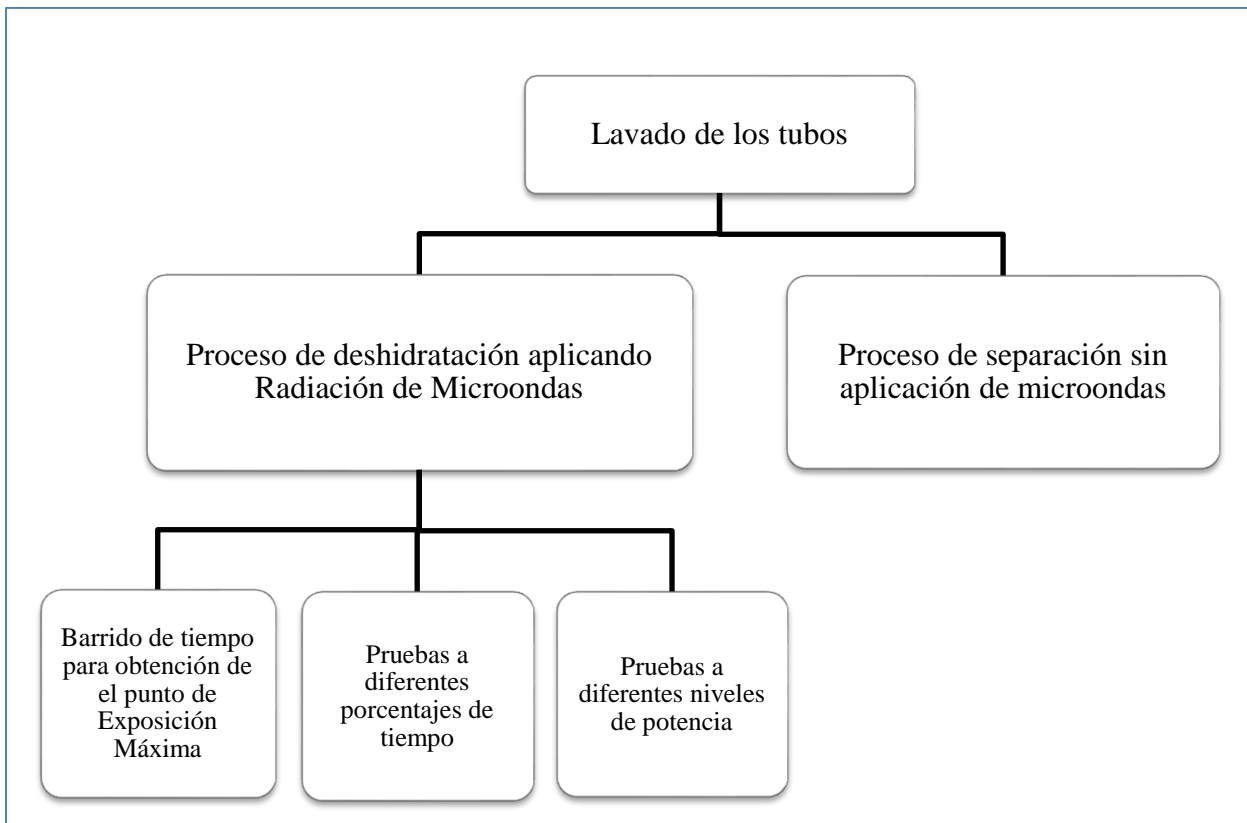


Figura 8: Esquema experimental general de la investigación.

III.1 Proceso de Lavado de los tubos de vidrio.

Este proceso se realizó con el fin de garantizar que los tubos de vidrio se encontraban en óptimas condiciones para la realización de la práctica, eliminando todos los

remanentes de agua e impurezas que pudieran interferir con la óptima realización de las experiencias.

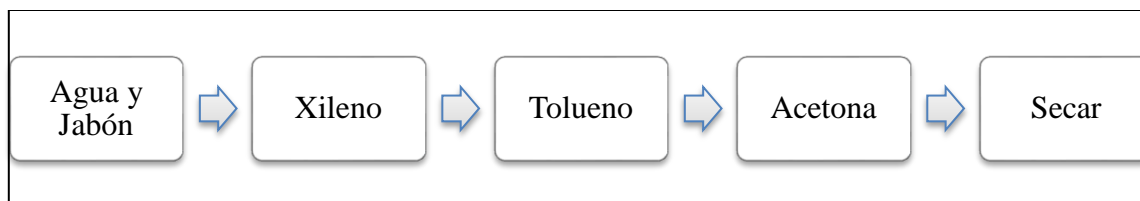


Figura 9: Proceso de lavado de los tubos.

Como se observa en la figura 9, en primer lugar se lavaron los tubos con agua y jabón de manera tradicional y con la ayuda de un cepillo del tamaño adecuado para ello. Se le agregó una pequeña cantidad de xileno y se curó el tubo con el mismo, procurando que la mayor cantidad de este compuesto entre en contacto con las paredes del vidrio, esto formó un azeótropo que disminuye el punto de ebullición de ambos compuestos (Wauquier, 2004). Se realizó el mismo procedimiento de curado de los tubos, ahora con Tolueno, a fin de retirar los restos de xileno remanentes en el tubo, debido a la alta solubilidad que existe entre estos compuestos. Luego se agregó acetona a las zanahorias, y gracias a la alta volatilidad de este, ayuda al rápido secado de los tubos. La adición de estos compuestos se realizó dentro de la campana de extracción, por la gran toxicidad asociada a ellos. El proceso de secado se agilizó con la ayuda de una pistola de aire que aumenta la velocidad de evaporación. Se debe acotar que este procedimiento se llevó a cabo en su totalidad para las zanahorias que así lo requerían, debido a la escasez y altos costos de los compuestos involucrados, de no ser necesario todo el proceso, las zanahorias sólo serían lavadas con agua y jabón y posteriormente curadas con una pequeña cantidad de acetona.

III.2 Proceso de deshidratación aplicando Radiación de Microondas.

Para alcanzar todos los objetivos propuestos, fue realizada esta experiencia, la cual, posee subdivisiones las cuales serán explicadas a lo largo de este capítulo. Se presenta a continuación en la figura 10, un diagrama de bloques, que resume en forma clara el proceso a aplicar en esta parte de la investigación.

III.2.1 Barrido de tiempo para la obtención del punto de exposición máxima.

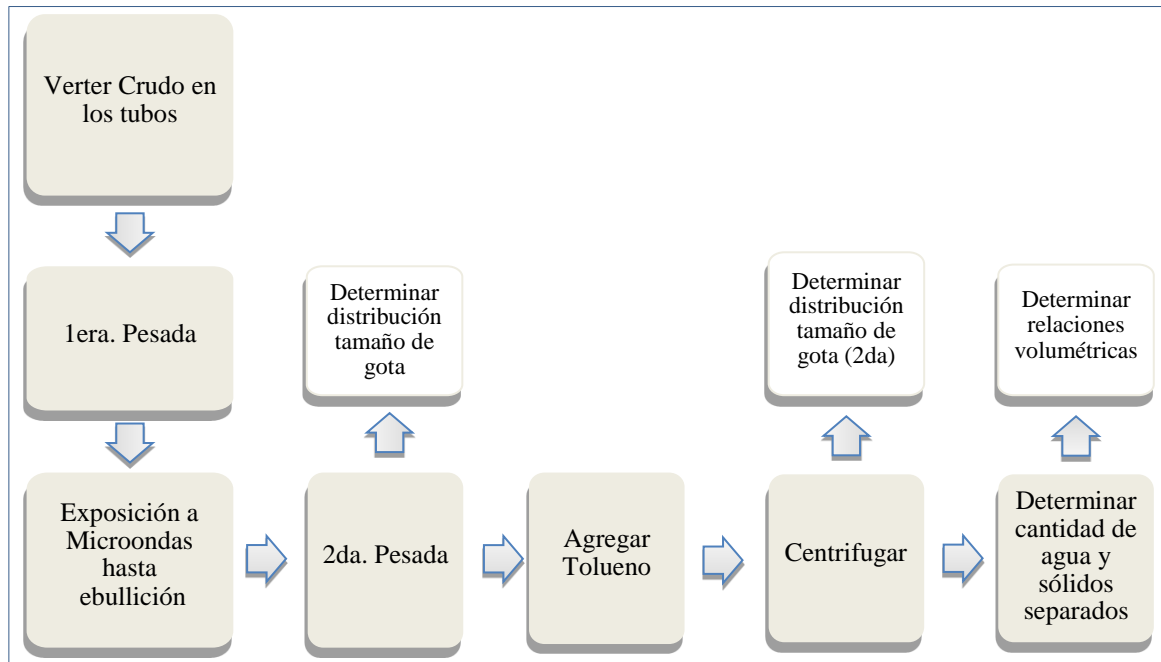


Figura 10: Procedimiento del barrido de tiempo para la obtención del punto de exposición máxima.

III.2.1.1 Verter crudo en los tubos.

Se agregó con sumo cuidado el crudo en las zanahorias, ayudándose con un agitador de vidrio o con una espátula metálica; se agregaron aproximadamente 3ml del hidrocarburo, ya que las zanahorias tienen, por lo general, una capacidad de 15ml, pero poseen rotulados los volúmenes hasta los 10ml y luego marca los 15ml máximo, por lo que para aplicar la centrifugación según la norma ASTM D 4007, se requiere de partes iguales de crudo y el compuesto que disminuye la viscosidad. Además de esto, se utilizaron 3ml para realizar las pruebas, ya que así se gastó menor cantidad de solvente, esto junto con la limitación existente en el laboratorio en cuanto a cantidad de las muestras de crudos. Se realizó el procedimiento para cada una de las fosas y se rotularon los tubos con el nombre de cada una para su correcta determinación, y se anotó el volumen exacto de crudo agregado.

III.2.1.2 Primera Pesada.

Esta parte se llevó a cabo utilizando una balanza digital. En primer lugar fueron pesados los tubos, cada uno por separado, que contenían el crudo, y luego por diferencia de masa se determinó la cantidad del hidrocarburo contenida en cada uno.

III.2.1.3 Someter a microondas.

El equipo a utilizado en esta sección fue un microondas casero marca “Midea” con una potencia máxima de salida de 1000 Watts, y una frecuencia de 2450 MHz, valor predilecto en el cual se encuentran los microondas caseros (Mutyala et. al., 2009). Cuenta además con un panel de control que permite establecer el tiempo de exposición y manipular el nivel de potencia.

En primera instancia se colocó sobre la zanahoria una membrana de goma, hecha con partes de un guante de látex, y se selló bien a la salida del tubo, la razón de esto era para determinar el punto de ebullición de la mezcla, ya que la ventana del microondas dificultó el apreciar el burbujeo característico de esta acción; se tenía previsto que dicha membrana comenzara a expandirse debido a la presencia del vapor de agua que se produce por el calentamiento, en dicho punto se establecía que se había llegado al punto de ebullición, o el punto de exposición máxima de la muestra. Se colocó la zanahoria en un beaker de tamaño apropiado para lograr dejar al tubo de vidrio en la posición más vertical posible y así evitar el derrame del contenido. Se llevaron estos materiales al centro del plato giratorio del microondas, como lo proponen Chan y Chen (2002) y se estableció un tiempo de 10 minutos en forma regresiva, esto para asegurar que la muestra alcanzara el punto de exposición máxima antes de acabarse el tiempo, ya que se esperaba que ello ocurriera en tan solo unos segundos. Debido a que la membrana se expandía antes de la llegada de la mezcla al punto de ebullición, se procedió a repetir las pruebas por un tiempo mayor, hasta encontrar que al sacar la mezcla del microondas, ésta se encontrara en estado de ebullición.

III.2.1.4 Segunda Pesada.

Se realiza del mismo modo que el punto III.2.1.2, la finalidad de ambos es poder determinar por diferencia de estos, la cantidad de agua evaporada por acción de la exposición a microondas, asumiendo que todo lo que se evapora en el proceso es únicamente agua. Se utilizó la siguiente expresión:

$$\%Agua_{evap.} = \frac{m_0 - m_f}{m_0} * 100 \quad (ec. 1)$$

donde:

$\%Agua_{evap}$: Porcentaje de agua evaporada.

m_f : Masa de la muestra después de la irradiación (g).

m_0 : Masa inicial de la muestra, antes de la irradiación (g).

III.2.1.4.1 Determinar la distribución de tamaño de gota.

Procedimiento llevado a cabo mediante el uso del microscopio óptico marca NIKON MED-600 que conectado a una cámara digital permite mostrar y digitalizar las imágenes obtenidas en el microscopio; a su vez, las imágenes fueron procesadas con el software *Image Pro Plus 6.0 (Media Cybernetics)* cuya licencia fue adquirida por el Laboratorio de Separaciones Mecánicas de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela. Este software permitió llevar a cabo el conteo de las gotas y distribución de tamaño de las mismas, obtenidas en las diferentes muestras analizadas.

III.2.1.5 Agregar Tolueno.

La razón de esta adición es para disminuir la viscosidad de la emulsión. Según se encuentra establecido en la norma ASTM D 4007, se agregaron partes iguales de Tolueno y de crudo, este procedimiento se realizó en la campana, por medidas de seguridad. La pipeta volumétrica a utilizar, fue primero curada con Tolueno, succionando por medio de la propipeta una pequeña cantidad del compuesto y haciéndolo pasar a través de todas las paredes del vidrio. Se agregaron volúmenes de Tolueno iguales a los registrados para cada muestra de crudo. Se agitaron con la ayuda de una varilla de vidrio y luego se coloca un tapón en el tubo para agitarlo, y así asegurar un buen mezclado de la muestra de crudo con el solvente empleado.

III.2.1.6 Centrifugar.

Este bloque también forma parte de la norma ASTM D 4007, en el que se colocó cada muestra de crudo en los extremos de la centrífuga, en caso de ser necesario se colocó una zanahoria llena de agua en el extremo sobrante, a fin de equilibrar el peso en el aparato y evitar daños que puedan producirse en este. El proceso se realizó a 2700 rpm, debido a que por razones operacionales, la centrífuga no podía operar a mayores revoluciones, por un tiempo de 15 minutos. Luego de esto se dejan reposar en una gradilla.

III.2.1.6.1 Determinar la distribución de tamaño de gota (2da).

Nuevamente se determinó la distribución de tamaño de gota de la misma manera que en el punto III.2.4.1, de manera de comparar los resultados antes y después de centrifugar. Se analizaron muestras de la parte superior de las zanahorias y de la capa de la microemulsión producida en el proceso.

III.2.1.7 Determinar la cantidad de agua y sólidos separados.

A pesar de que la norma ASTM D 4007, se expresa como una norma para la obtención de agua y sedimentos como un solo valor, se realizaron también cálculos con los datos obtenidos por separado en estas experiencias. Una vez en la gradilla, se determinó el volumen de agua separado a través de las líneas rotuladas de medición que posee cada tubo, así como también el volumen de sólido separado en cada muestra. Una vez anotados estos datos, se determinó estos porcentajes de separación, a través de las siguientes ecuaciones:

$$\%S_{H_2O} = \left(\frac{V}{V_0} * 100 \right) - \%Agua_{evaporada} \quad (ec. 2)$$

donde:

$\%S_{H_2O}$: Porcentaje de Separación de Agua.

V : Volumen de agua obtenido en esta experiencia (ml).

V_0 : Volumen de agua inicial contenido en el crudo (ml).

$\%Agua_{evaporada}$: Porcentaje de Agua Evaporada durante la exposición a microondas (%).

III.2.1.8 Determinar Relaciones volumétricas.

Una vez obtenidos los valores de las cantidades de agua y sólidos separados, se realizaron ciertas relaciones volumétricas, mediante las siguientes ecuaciones:

$$Agua_{muestra} = V_{muestra} * \%H_2O \quad (ec. 3)$$

donde:

$Agua_{muestra}$: Cantidad de agua contenida en cada muestra (ml).

$V_{muestra}$: Volumen de crudo agregado en la experiencia (ml).

$\%H_2O$: Porcentaje de agua contenido en la muestra. (Tabla 1) (%).

$$Crudo_{muestra} = V_{muestra} - Agua_{muestra} \quad (ec. 4)$$

donde:

$Crudo_{muestra}$: Cantidad de crudo contenida en cada muestra (ml).

$V_{muestra}$: Volumen de crudo agregado en la experiencia (ml).

$$Agua_{microemulsión} = Agua_{muestra} - Agua_{separada} \quad (ec. 5)$$

donde:

$Agua_{microemulsión}$: Cantidad de agua contenida en la microemulsión (ml).

$Agua_{separada}$: Volumen de agua separado físicamente (ml).

$$Crudo_{microemulsión} = Vol_{microemulsión} - Agua_{microemulsión} \quad (ec. 6)$$

donde:

$Crudo_{microemulsión}$: Cantidad de crudo contenida en la microemulsión (ml).

$Vol_{microemulsión}$: Volumen de microemulsión obtenido en cada zanahoria (ml).

$$Crudo_{tope} = Crudo_{muestra} - Crudo_{microemulsión} \quad (ec. 7)$$

donde:

$Crudo_{tope}$: Cantidad de crudo mezclada con Tolueno contenida en la capa superior de la zanahoria (ml).

Todos los resultados de estas relaciones y balances serán mostrados y explicados en el siguiente capítulo.

III.2.2 Pruebas a diferentes porcentajes de tiempo.

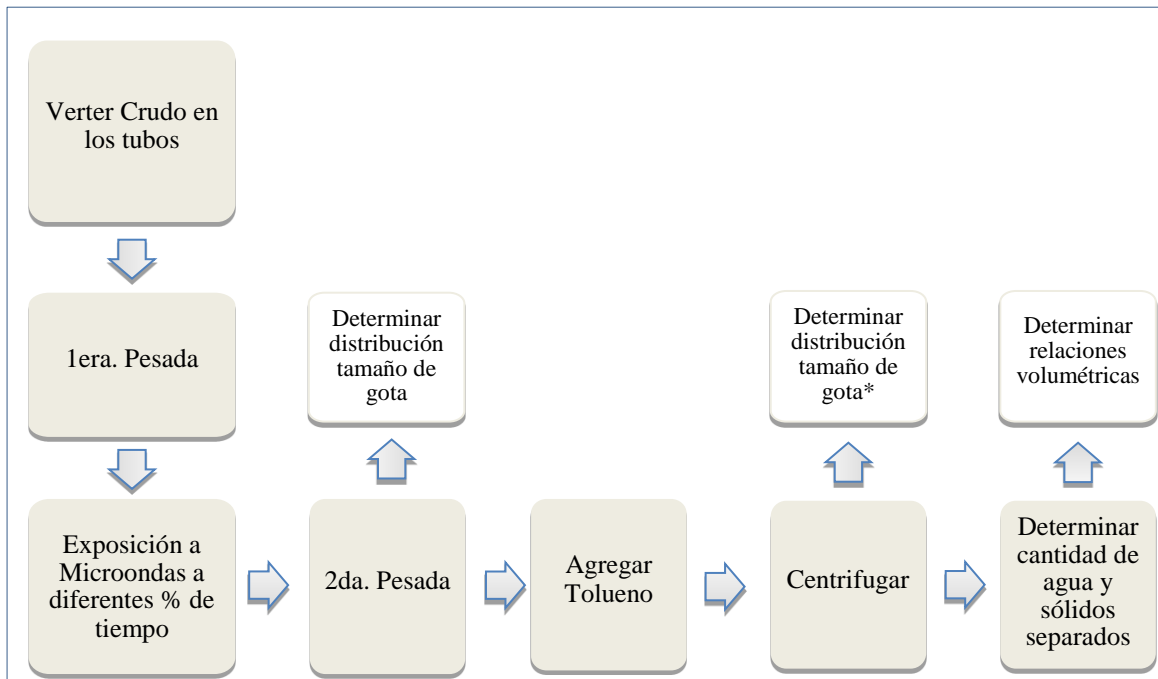


Figura 11: Procedimiento de pruebas a distintos porcentajes de tiempo.

Como se aprecia en la figura 11, el procedimiento experimental para las pruebas a diferentes porcentajes de tiempo, se realizó bajo las mismas características que el procedimiento anterior, con la diferencia que al someter a la radiación de microondas, ya se conocía el valor del punto máximo de exposición de las muestras, por lo que se realizaron pruebas al 25% y al 50% del valor del tiempo máximo, Manteniendo el nivel de potencia al 100%. El tiempo de irradiación se colocó a través del panel de control frontal del horno microondas.

Es de importancia destacar que las pruebas se realizaron dos veces para cada muestra y para cada porcentaje de tiempo empleado.

III.2.3 Pruebas a diferentes Niveles de Potencia.

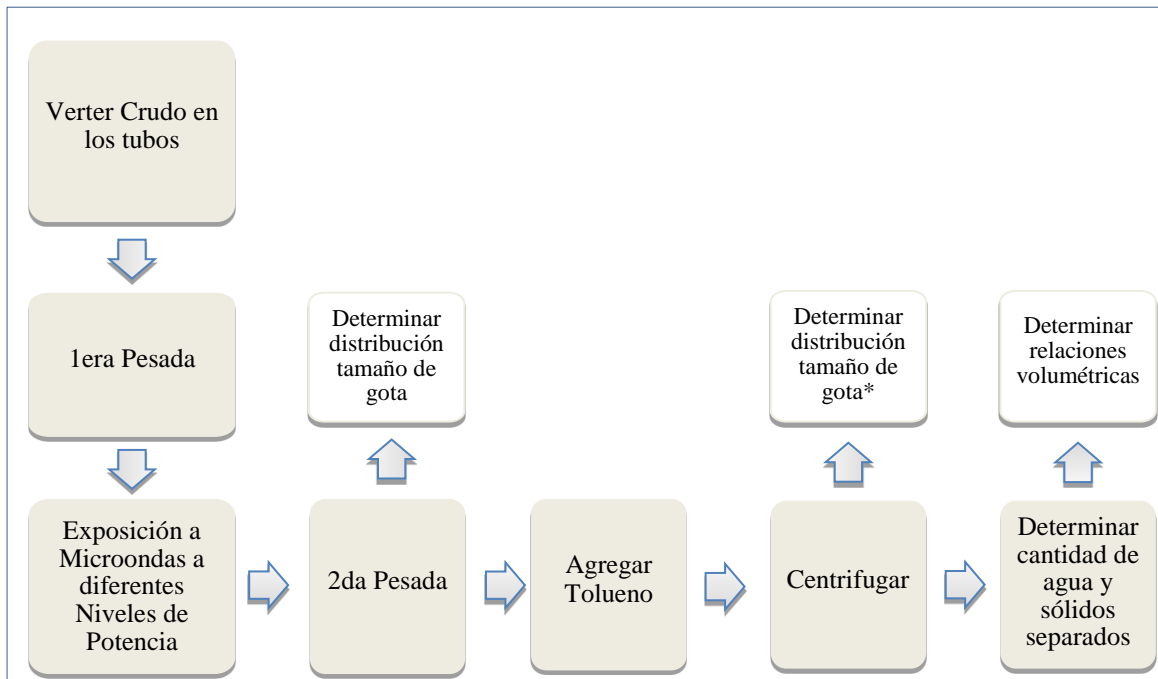


Figura 12: Procedimiento de pruebas a distintos niveles de potencia.

Nuevamente, se observa en la figura 12 que el procedimiento de este punto es similar a los dos procedimientos anteriormente planteados, pero al momento de la irradiación con microondas se realizará por un período de tiempo igual al tiempo máximo de irradiación, variando la potencia en cada prueba. Esta variación del nivel de potencia puede realizarse mediante el panel de control frontal del horno microondas. Los porcentajes de potencia utilizados fueron el 20% y el 50% de la potencia máxima.

De igual manera se realizaron dos pruebas por cada muestra y por cada valor de potencia utilizados.

III.3 Proceso de separación sin aplicación de Microondas.

Este proceso fue realizado para la comparación del mismo con los procesos donde es aplicada la radiación de microondas y así poder cumplir con los objetivos propuestos.

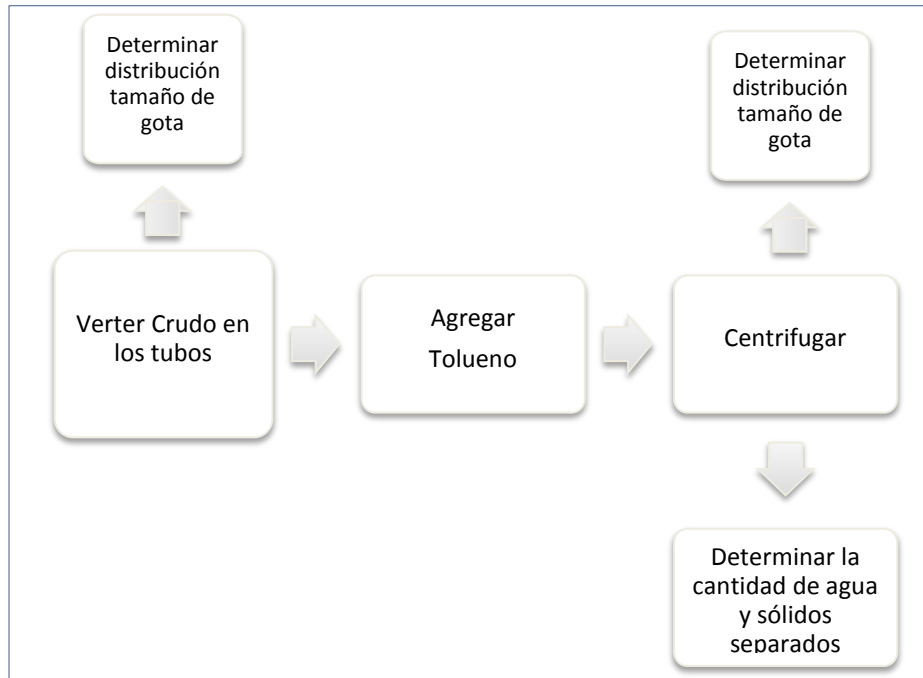


Figura 13: Proceso de separación Sin Microondas.

Este proceso de separación sin aplicación de radiación microondas, consta básicamente en llevar a cabo la norma ASTM D 4007, que ya fue explicada anteriormente. Los datos obtenidos de esta sección, fueron utilizados para comparar resultados entre los procesos donde se le aplica radiación a las muestras y este procedimiento simple sin microondas. A fin de estudiar y entender la influencia de estas ondas en la deshidratación de crudos.

III.4 Determinación de distribución de tamaño de gota.

Todas las muestras serán observadas al microscopio para luego estudiar la influencia de la aplicación de la radiación de microondas sobre el crudo al compararlas con las muestras sin ser sometidas a esta radiación.

En primer lugar se toma una pequeña muestra del crudo con la ayuda de un tubo capilar, o en su defecto con la punta de un clip. Se coloca sobre el porta objetos de vidrio y seguidamente se cubre con la delgada lámina transparente conocida como cubre objetos. Esto se lleva al microscopio y se utiliza el lente de 20X de aumento, debido a que este aumento es el utilizado en trabajos previos llegando a muy buenos resultados, tal es el caso

de la tesis de pregrado de Padrón y Zúñiga en el 2005. Con ayuda de la cámara especializada que se encuentra conectada a una computadora, se digitalizó la imagen de la muestra observada, para así lograr su posterior análisis. En la figura 14 se muestra el esquema del procedimiento experimental a seguir descrito anteriormente.

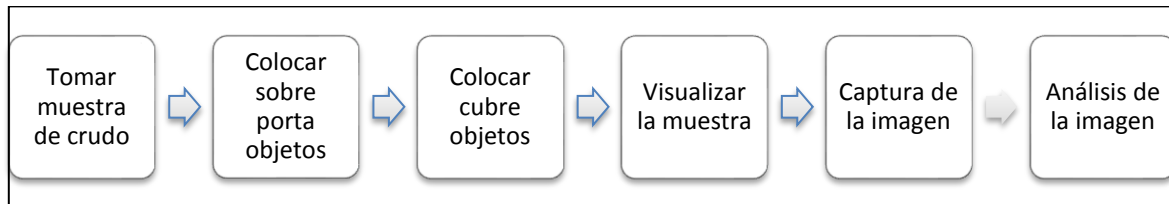


Figura 14: Procedimiento de análisis para las muestras en el microscopio

Además de todas estas experiencias con microondas que se le aplicaron a las muestras, se realizó la caracterización de los crudos mediante el método de fraccionamiento SARA, llevado a cabo por algunos miembros del laboratorio de separaciones mecánicas de la facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, este análisis se realizó a las muestras en estudio sin la aplicación de ningún proceso ni energía. Se tomaron esos resultados como material, lo que permitió establecer relaciones entre los resultados obtenidos en la experimentación y este análisis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo serán expuestos los resultados obtenidos durante desarrollo de esta investigación, así como también el análisis y explicación de los mismos.

IV.1 Determinación del punto de exposición máxima, al 100% de Potencia (1000 W).

En primer lugar, las pruebas se llevaron a cabo tomando como muestra patrón la fosa Guara-2, debido a que la misma es la que posee mayor porcentaje de agua total en su composición; Esto deberá dar un indicio del comportamiento del agua en la emulsión frente a las microondas.

Luego de introducir las muestras de crudo en los tubos, y de colocar una membrana de goma sobre la boca de los mismos, se llevó cada una de las muestras por separado al microondas hasta que dicha membrana comenzara a expandirse, esto se observó a los pocos segundos de operación del equipo. Una vez retiradas las muestras del microondas, se tiene que las mismas aún no habían alcanzado el punto de ebullición, es decir, no se observó el burbujeo característico de dicho proceso. El motivo de esto es porque las moléculas de agua que se encontraban más separadas entre sí comienzan a cambiar de fase más rápido y escapar del crudo, haciendo que se incremente la presión interna del tubo y la membrana comience a expandirse, dando lugar a que esta técnica con membrana no funcione para la determinación del punto de exposición máxima.

Por esta razón se repitió la experiencia aumentando progresivamente el tiempo de exposición, pero sin utilizar la membrana de látex, hasta observar que las muestras al retirarlas del microondas, se encontraban en estado de ebullición. En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos en estas pruebas, para fosa Guara-2

En esta tabla 2 aparecen los valores iniciales del tubo junto con la muestra, que luego de ser sometidas a radiación, fue determinada su masa nuevamente, como se observa en la segunda columna, de esta manera poder determinar el porcentaje de masa perdida durante la radiación de microondas según la ecuación 1. Se observa que el porcentaje de

masa perdida aumenta a medida que aumenta el tiempo de exposición, lo que es de esperarse, pues la muestra al pasar más tiempo sometida a microondas, más se calentará producto de los mecanismos de calentamiento producidos en la fase acuosa, como lo establece Liu (2002) y mayor cantidad de agua escapará como vapor.

Tabla 2: Datos obtenidos para los diferentes tiempos de exposición de la fosa Guara-2.

Prueba	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)
1	16,3	16,30	0,00	3,0	31
2	16,7	16,69	0,06	3,0	33
3	18,06	18,05	0,06	3,0	36
4	16,53	16,52	0,06	3,2	40
5	15,04	15,04	0,00	2,6	50
6	15,14	15,12	0,13	2,5	56
7	17,94	17,92	0,11	3,0	61
8	18,44	18,42	0,11	3,5	85
9	18,79	18,75	0,21	4,0	108

Se muestra en la tabla 2, sombreado, el tiempo de exposición máxima encontrado para esta muestra de crudo, es decir, que a partir de aquí la muestra se encuentra en su punto de ebullición, lo que fue corroborado con un siguiente experimento en el que se incrementó el tiempo de exposición, determinando que la muestra efectivamente se encontraba en estado de ebullición.

Tabla 3: Resultados obtenidos luego de la centrifugación para la fosa Guara-2

Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
0,70	0,50	0,20	0,70
0,60	0,60	0,20	0,80
0,70	0,50	0,30	0,80
0,55	0,55	0,20	0,75
0,50	0,45	0,35	0,80
0,50	0,30	0,40	0,70
0,80	0,40	0,20	0,60
0,80	0,40	0,30	0,70
0,80	0,40	0,40	0,80

Se muestra también la fila sombreada en la tabla 3, correspondiente a la experiencia a la cual fueron sometidas las muestras al tiempo de exposición máxima. Luego de someter las muestras a centrifugación, se obtienen estos resultados (tabla 3) donde se muestra que el volumen de la microemulsión aumenta a medida que el tiempo de exposición es mayor, para las primeras experiencias, hasta llegar a un valor relativamente estable, es decir que ni aumenta ni disminuye; esto tiene relación con lo ya mencionado anteriormente en cuanto al cambio de fase del agua, es decir, las moléculas que no pudieron escapar evaporándose de la muestra, quedan dispersas y separadas en el crudo, que al retirar la energía de microondas, la película protectora de estas gotas dispersas comienzan a estabilizarse nuevamente, dando lugar a que luego de la centrifugación no puedan coalescer, traducándose en un aumento en el volumen de microemulsión; la disminución de este volumen para los valores intermedios indica que a estas condiciones la energía de microondas es la adecuada para desestabilizar en mayor proporción la película protectora sin llegar al punto de la evaporación y dispersión de la gota de agua, promoviendo así la coalescencia, o lo que es lo mismo, aumento en la cantidad de agua separada. Esto da a suponer que se pudiese generar un segundo paso por microondas para romper la llamada microemulsión y así tener una separación de agua mayor.

Esta microemulsión son gotas de agua de tamaño considerablemente grandes que contienen otras gotas más pequeñas de agua dentro de ellas, que no coalescen debido a que estas gotas internas aún se encuentran rodeadas por una muy delgada película de crudo que no pudo ser debilitada y/o destruida. También se tiene que los valores de la cantidad de sólidos separados son prácticamente constantes, lo que da indicio de que las microondas no actúan directamente en estas moléculas, sino que debe tratarse más de la interacción del crudo con el solvente.

Estos resultados de Guara-2 permiten realizar relaciones volumétricas conociendo el porcentaje de agua que posee la muestra, según los resultados de Rodríguez (2011) en la tabla 1, y además basándose en ciertas suposiciones, en primer lugar se dice que todo el agua de la muestra, luego de centrifugar se localiza en el agua separada y en la microemulsión, dicha suposición es establecida ya que al estudiar al microscopio la parte superior de la muestra ya centrifugada, se tiene que no se observa ninguna gota de agua.

También se establece que la cantidad de crudo estará repartida entre la microemulsión y la parte superior de la muestra donde está mezclado con el Tolueno.

Las relaciones volumétricas además de ser calculadas con las suposiciones ya mencionadas, se utilizan utilizando las ecuaciones descritas en el procedimiento experimental (ecuaciones de la 4 a la 8). Estos resultados se muestran en la tabla 4; como puede observarse en la misma, se incluyen los valores obtenidos en la experiencia sin aplicación de microondas (valores correspondientes a la **prueba 0**), para así obtener un barrido completo, donde este valor representa el tiempo de irradiación igual a cero.

Tabla 4: Relaciones volumétricas para la fosa Guara-2.

Prueba	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Agua separada (%)	Agua en microemulsión (%)
0	3,2	1,22	1,98	1,20	1,21	0,77	17,54	82,46
1	3	1,14	1,86	0,64	0,06	1,80	43,86	56,14
2	3,2	1,14	1,86	0,54	0,06	1,80	52,63	47,37
3	3	1,14	1,86	0,64	0,06	1,80	43,86	56,14
4	3,2	1,21	1,98	0,66	0,11	1,87	45,23	54,77
5	3	0,98	1,61	0,53	0,03	1,57	45,55	54,45
6	2,5	0,95	1,55	0,65	0,15	1,40	31,58	68,42
7	3	1,14	1,86	0,74	0,06	1,80	35,09	64,91
8	3,5	1,33	2,17	0,93	0,13	2,04	30,08	69,92
9	4	1,52	2,48	1,12	0,32	2,16	26,32	73,68

A partir de los resultados mostrados en la tabla 4, se pudo realizar una gráfica que muestra la tendencia a seguir de la separación de agua para la fosa Guara-2. A fin de observar la tendencia y el comportamiento que presenta esta fosa en cuanto al tiempo de residencia.

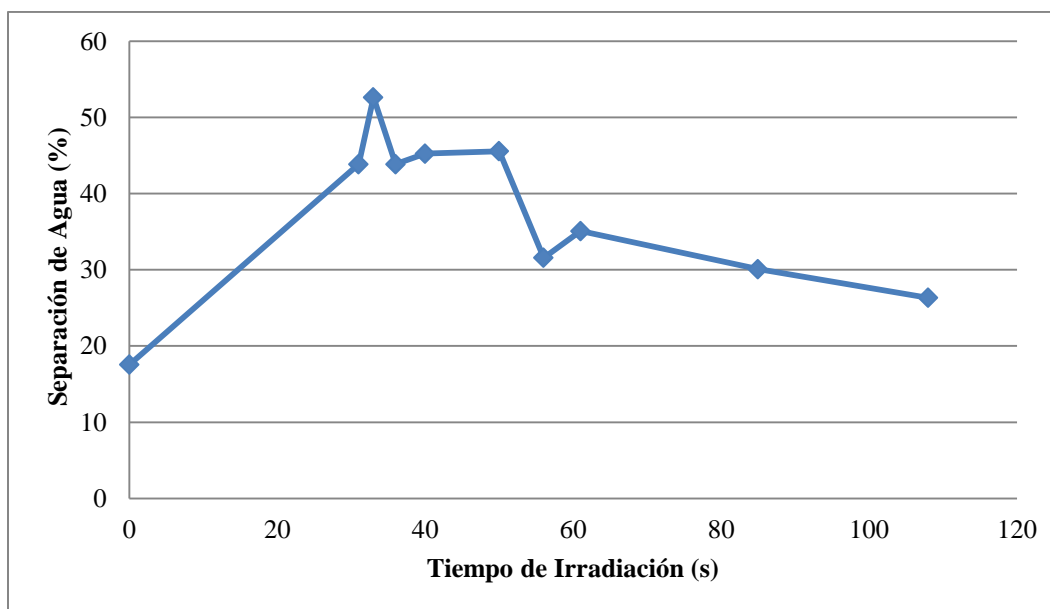


Figura 15: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Guara-2.

La figura 15 ilustra claramente como el porcentaje de agua aumenta a medida que se incrementa el tiempo de irradiación, llegando a colocarse en valores prácticamente estables, donde a partir de aproximadamente los 50 segundos de tratamiento, la separación comienza a ser menos eficiente, esto debido a la evaporación del agua por la exposición prolongada a la radiación. Al aumentar el tiempo de irradiación se esperaría obtener una mayor separación de agua, esto no ocurre debido a que las moléculas de agua contenidas en la muestra, reciben tanta energía que algunas son evaporadas antes de coalescer, evidenciado con la masa perdida reportada; otra parte de las moléculas que no logran escapar del crudo debido a la alta viscosidad, se encuentran atrapadas muy posiblemente en la parte más superior de la muestra, que luego al centrifugar y encontrarse tan dispersas y separadas unas de otras, quedan en la parte inferior del tubo, pero sin coalescer en forma de la llamada microemulsión.

La figura 16 muestra los resultados obtenidos, físicamente observables, durante esta experiencia, los cuales llevaron a la realización de las relaciones volumétricas ya mostradas. Las fotografías de los tubos se encuentran en el mismo orden de aparición al reportado en la tabla 4, incluyendo el primer valor de la llamada prueba 0.



Figura 16: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Guara-2.

Luego de analizados los resultados obtenidos para la fosa Guara-2, se presentan las demás tablas y gráficos obtenidos para las otras fosas en estudio. Comenzando con Acema-100 la cual posee una cantidad total de agua muy parecida a la primera mencionada, seguido de Merrey-31. Todo esto será presentado para luego ser explicado.

Tabla 5: Resultados obtenidos al determinar el punto de exposición máxima para las muestras de la fosa Acema-100.

Prueba	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
1	16,98	16,98	0,00	3,0	26	1,30	0,10	0	0,10
2	14,79	14,79	0,00	2,5	31	0,90	0,20	0	0,20
3	15,97	15,97	0,00	3,1	40	1,25	0,25	0	0,25
4	17,81	17,79	0,11	3,6	82	2,0	0,1	0	0,1
5	16,07	16,05	0,12	3,4	81	1,3	0,2	0	0,2
6	17,05	17,04	0,06	3,1	139	1,9	0,0	0	0,0
7	17,84	17,83	0,06	3,2	162	1,8	0,0	0	0,0
8	16,59	16,5	0,54	3,6	195	1,8	0,0	0	0,0
9	15,67	15,6	0,45	3,0	237	1,7	0,0	0	0,0

Tabla 6: Relaciones volumétricas para la fosa Acema-100.

Prueba	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Agua separada (%)	Agua en microemulsión (%)
0	3	1,11	1,89	1,11	0,39	1,5	0	100
1	3	1,11	1,89	1,01	0,29	1,6	9,01	90,99
2	2,5	0,92	1,57	0,72	0,17	1,4	21,62	78,38
3	3,1	1,14	1,95	0,89	0,35	1,6	21,80	78,20
4	3,6	1,33	2,26	1,23	0,76	1,5	7,51	92,49
5	3,4	1,28	2,14	1,05	0,24	1,9	15,90	84,10
6	3,1	1,14	1,95	1,14	0,75	1,2	0	100
7	3,2	1,18	2,01	1,18	0,61	1,4	0	100
8	3	1,11	1,8	1,11	0,69	1,2	0	100
9	3,6	1,33	2,26	1,33	0,36	1,9	0	100

Con estos datos, se pudo realizar una gráfica que muestra mejor los resultados obtenidos, a fin de observar la tendencia y el comportamiento que presenta esta fosa en cuanto al tiempo de residencia.

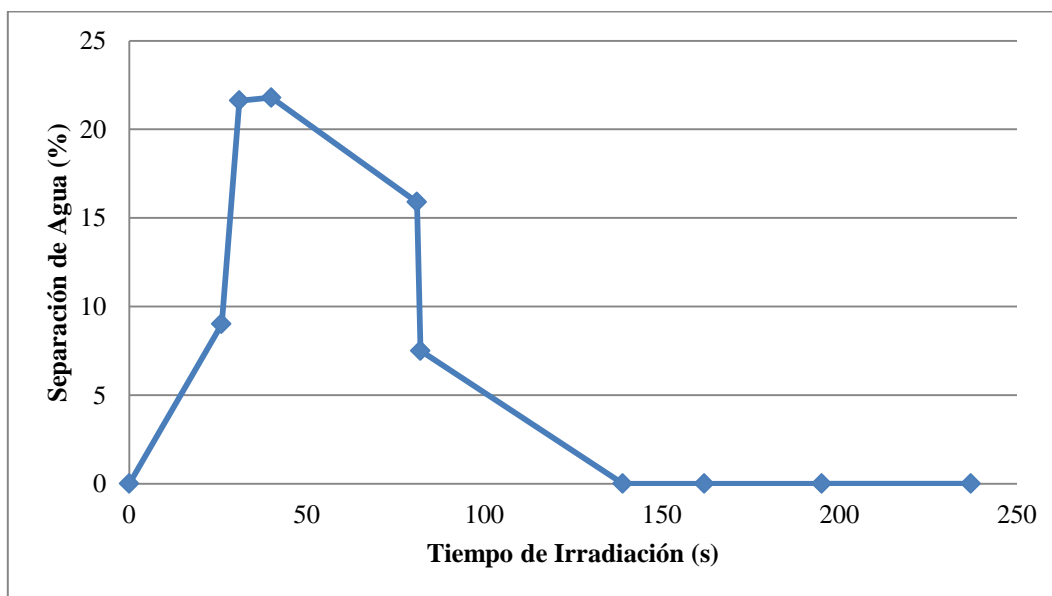


Figura 17: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Acema-100.

Se presenta ahora una imagen (figura 18) que ilustra los resultados físicamente observables obtenidos para las experiencias realizadas con la fosa Acema-100.

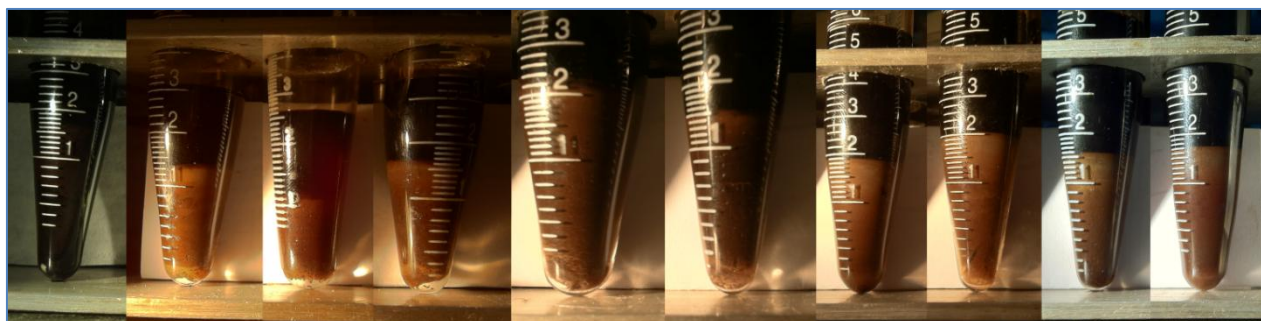


Figura 18: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Acema-100.

Por último en la determinación del punto de exposición máxima, se realizaron pruebas con la fosa Merrey-31, dando como resultado los valores que aparecen en la tabla 7.

Tabla 7: Resultados obtenidos al determinar el punto de exposición máxima para las muestras de la fosa Merrey-31.

Prueba	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
1	19,08	19,07	0,05	3,5	38	0,30	0,40	0,05	0,45
2	15,48	15,48	0,00	3,3	45	0,25	0,30	0,05	0,35
3	14,61	14,61	0,00	3,1	49	0,40	0,30	0,10	0,40
4	17,59	17,58	0,06	3	125	0,20	0,35	0,05	0,40
5	17,72	17,71	0,06	3,4	134	0,30	0,35	0,10	0,45
6	16,29	16,27	0,12	3,1	185	0,70	0,10	0,10	0,20
7	16,53	16,51	0,12	3,1	243	0,50	0,2	0,05	0,25
8	17,36	17,34	0,12	4	270	0,70	0,1	0,05	0,15
9	16,49	16,45	0,24	4	300	0,50	0,1	0,05	0,15

Del mismo modo se realizan las relaciones volumétricas y se obtienen los valores de la tabla 8.

Tabla 8: Relaciones volumétricas para la fosa Merey-31.

Prueba	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Agua separada (%)	Agua en microemulsión (%)
0	3,1	0,49	2,60	0,49	0,40	2,20	0	100
1	3,5	0,56	2,94	0,16	0,14	2,80	71,43	28,57
2	3,3	0,53	2,77	0,22	0,02	2,75	56,82	43,18
3	3,1	0,49	2,60	0,19	0,20	2,40	60,48	39,52
4	3,0	0,48	2,52	0,13	0,07	2,45	72,92	27,08
5	3,4	0,54	2,85	0,19	0,11	2,75	64,34	35,66
6	3,1	0,49	2,60	0,30	0,30	2,30	20,16	79,84
7	3,1	0,49	2,60	0,20	0,20	2,40	40,32	59,68
8	4,0	0,64	3,36	0,54	0,06	3,30	15,63	84,38
9	4,0	0,64	3,36	0,54	0,16	3,20	15,63	84,38

Y con esto se obtiene la gráfica de la figura 19.

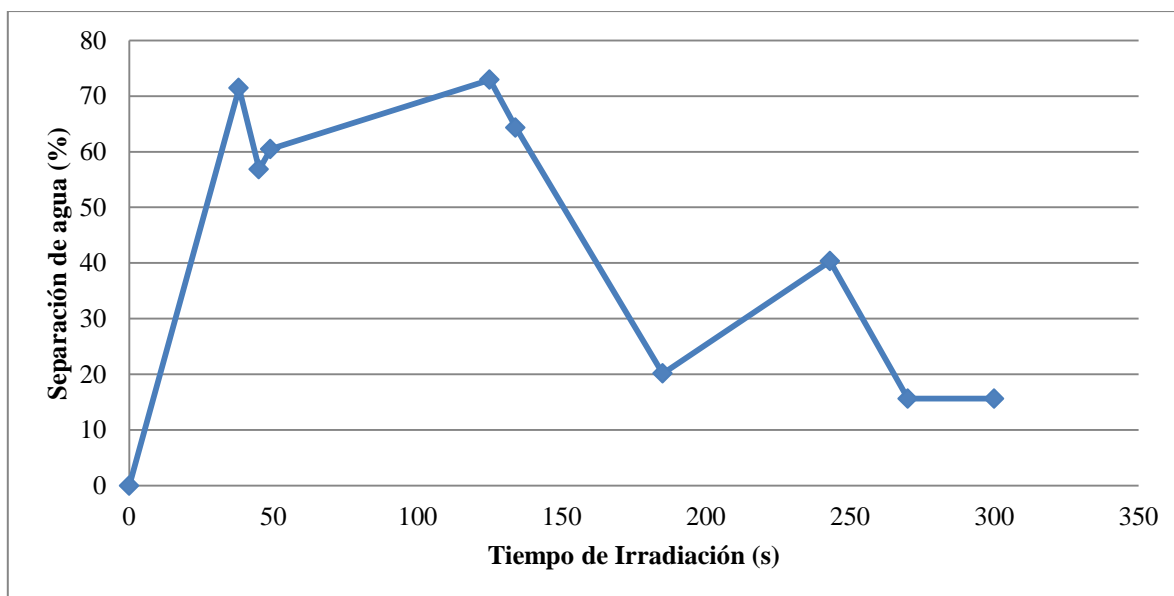


Figura 19: Porcentaje de separación en función del tiempo de irradiación al 100% de potencia para la fosa Merey-31.

Se muestra en último lugar para este punto la figura 20, donde se observan físicamente los resultados expresados en las tablas anteriores para la fosa Merey-31.

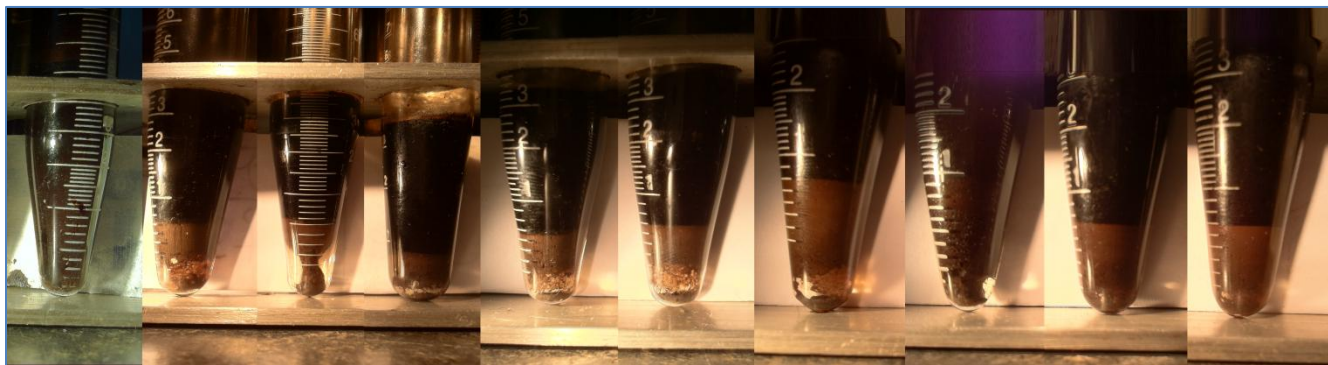


Figura 20: Fotos de los tubos resultados de las pruebas de determinación del punto de máxima exposición para la fosa Merey-31.

Las tablas 5 y 7 muestran un como la cantidad de masa perdida debido a la evaporación aumenta a medida que lo hace el tiempo de exposición del mismo modo como sucede en la primera explicación de la fosa Guara-2, con la diferencia que el volumen de microemulsión es mucho mayor para la fosa Acema-100 que para las otras dos, esto debido a su composición. Luego vemos las tablas 6 y 8 donde los porcentajes de agua separada para Merey-31 son mayores que los obtenidos para las otras fosas, teniendo que la separación más pobre correspondió para la fosa Acema-100. Para la fosa Acema-100 no se obtuvo ningún tipo de sedimento depositado, en cambio Merey-31 si presenta sedimentación de sólidos, que de la misma forma que para Guara-2, esta cantidad se mantiene relativamente constante independientemente del tiempo de exposición a la radiación. En todas estas tablas descritas, se encuentra sombreada la fila que corresponde a la experiencia donde se obtuvo el tiempo de exposición máximo.

Se observa que en las gráficas de las figuras 17 y 19 el comportamiento de las mismas es análogo al obtenido para Guara-2, es decir, aumenta el porcentaje de separación de agua a medida que el tiempo de irradiación es mayor, hasta llegar a un punto donde la cantidad de agua separada comienza a disminuir, llegando incluso a porcentajes de separación iguales a cero, esto específicamente para la fosa Acema-100.

IV.2 Pruebas realizadas a distintos porcentajes de tiempo.

Una vez ya determinado el tiempo máximo de exposición de cada muestra, se realizaron las experiencias correspondientes al siguiente objetivo. Como ya se expresó en el marco metodológico se realizaron experiencias a diferentes porcentajes de tiempo (25 y 50 %), tomando como referencia el valor de tiempo máximo y manteniendo la potencia en 100% (1000 W). En primer lugar se realizan estos experimentos, para observar repetitividad en los resultados, ya que estos valores eran muy cercanos a los ya realizados, también para proporcionar nuevos datos de tiempos de irradiación y además proporciona una manera de poder comparar los tiempos de residencia entre las distintas fosas.

De la misma manera que se realizó en el punto anterior, se comienza teniendo como referencia la fosa Guara-2, para la cual se obtuvieron los valores de la tabla 9 en el que el punto de máxima exposición fue de 85 segundos.

Tabla 9: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Guara-2.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
25	18,01	18,01	0,00	4	21	1,2	0,6	0,3	0,9
25	18,55	18,55	0,00	4	21	1,3	0,5	0,2	0,7
50	17,45	17,44	0,06	3	42	0,6	0,6	0,2	0,8
50	18,21	18,20	0,05	3,3	42	0,6	0,7	0,2	0,9

Se observó que los resultados obtenidos son acordes a los alcanzados en la primera parte de la investigación, en la cual se obtiene que para mayores tiempos de exposición la pérdida de masa es mayor. De igual manera se tienen valores constantes de sólidos separados, independientemente del tiempo de radiación empleado. Comparando estos resultados con los obtenidos anteriormente para la misma fosa, se obtienen resultados muy parecidos, lo que da certeza de que existe repetitividad en los mismos. Esto permite determinar de los valores correspondientes a las relaciones volumétricas, mostradas en la tabla 10.

Tabla 10: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Guara-2.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Porcentaje de agua separado (%)	Porcentaje de agua en microemulsión (%)
25	4,0	1,52	2,48	0,92	0,28	2,2	39,47	60,53
25	4,0	1,52	2,48	1,02	0,28	2,2	32,89	67,11
50	3,0	1,14	1,86	0,54	0,06	1,8	52,63	47,37
50	3,3	1,25	2,05	0,55	0,05	2,00	55,82	44,18
100	3,5	1,33	2,17	0,93	0,13	2,04	30,08	69,92

En la tabla 10 se encuentran sombreados los valores que representan la mayor separación de cada tiempo de irradiación, así como también el valor correspondiente al 100 % del tiempo. Lo que permite obtener la gráfica de la figura 21, para observar de mejor manera lo expresado en la tabla.

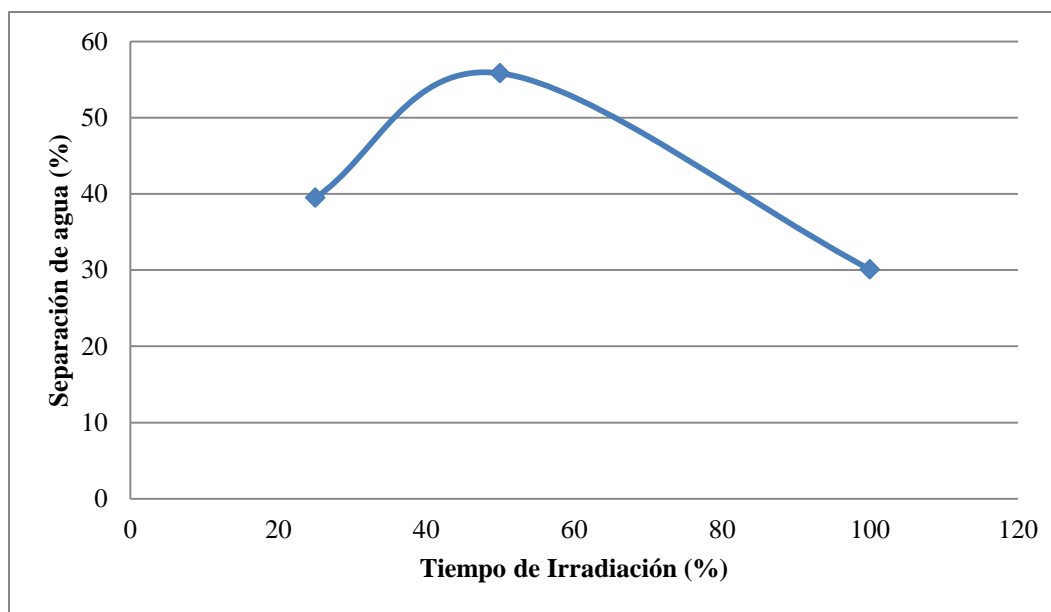


Figura 21: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Guara-2.

La figura 21 muestra la gráfica obtenida para esta parte de la experiencia, donde claramente se observa que los valores corresponden al experimento realizado inicialmente. Si se compara esta imagen con la figura 17, podría establecerse que ésta última representa

un segmento ampliado de la primera. Se tiene que la mayor separación presentada es para el 50% del tiempo máximo.

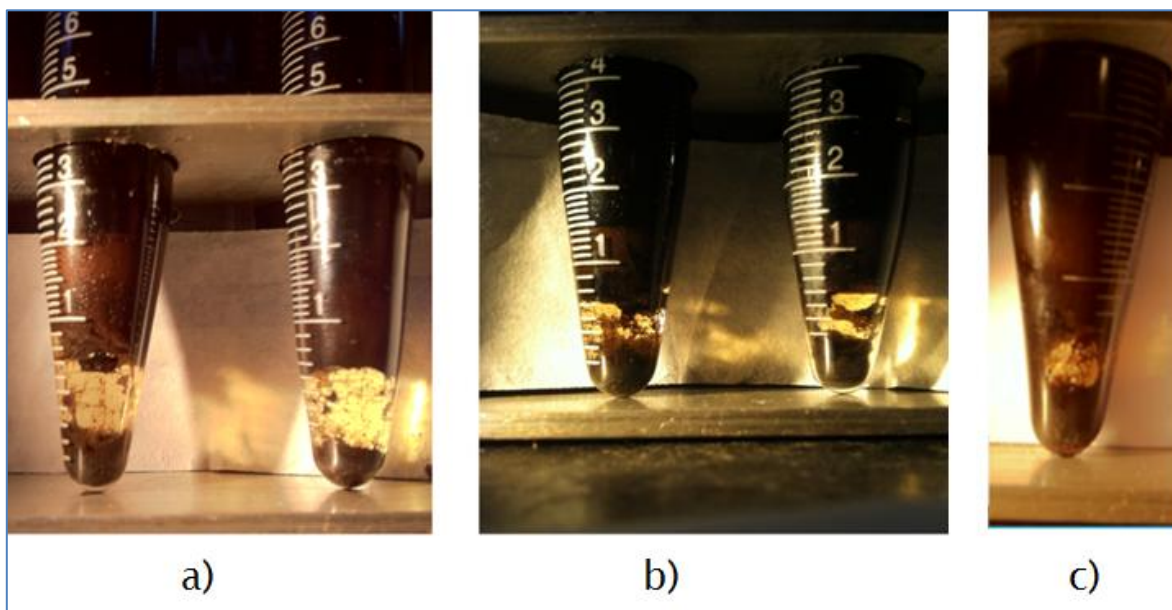


Figura 22: Guara-2. a) Muestras irradiadas a un 25% del tiempo de exposición máxima.

b) Muestras irradiadas a un 50% del tiempo de exposición máxima.

c) Muestra sometida al 100% del tiempo total de radiación.

A pesar de que en la figura 24 la muestra irradiada a un 25% del tiempo máximo, parezca contener mayor volumen de separación de agua, no lo es, debido a que la cantidad de crudo agregada al tubo aquí fue mayor (más de un 30% de muestra), y al realizar los cálculos en base a estas cantidades y el porcentaje total de agua que posee la muestra, se demuestra que la cantidad de agua separada para un 50% del tiempo, es mayor. Como se observa en la tabla 10.

Seguidamente, se muestran los resultados en sus tablas correspondientes y las gráficas obtenidas en esta parte de la investigación referente a las otras dos fosas en estudio, para luego explicarlas y compararlas con la fosa de referencia. Se tiene que para la fosa Acema-100, su punto de máxima exposición fue de 195 segundos.

Tabla 11: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Acema-100.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
25	14,62	14,62	0,00	3,4	49	1,7	0,3	0	0,3
25	17,7	17,7	0,00	3,6	49	1,7	0,3	0	0,3
50	15,88	15,87	0,06	3	97	1,7	0,1	0	0,1
50	17,18	17,16	0,12	3	97	1,55	0,15	0	0,15

Ahora se calculan las relaciones volumétricas para esta muestra de Acema-100.

Tabla 12: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Acema-100.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Agua separada (%)	Agua en microemulsión (%)
25	3,4	1,258	2,142	0,958	0,742	1,4	23,85	76,15
25	3,6	1,332	2,268	1,032	0,668	1,6	22,52	77,48
50	3	1,11	1,89	1,01	0,69	1,2	9,01	90,99
50	3	1,11	1,89	0,96	0,59	1,3	13,51	86,49
100	3	1,11	1,8	1,11	0,69	1,2	0	100

Con los datos obtenidos se realiza la gráfica de tendencia de la separación de agua en función del porcentaje de tiempo de radiación empleado, mostrado en la figura 21.

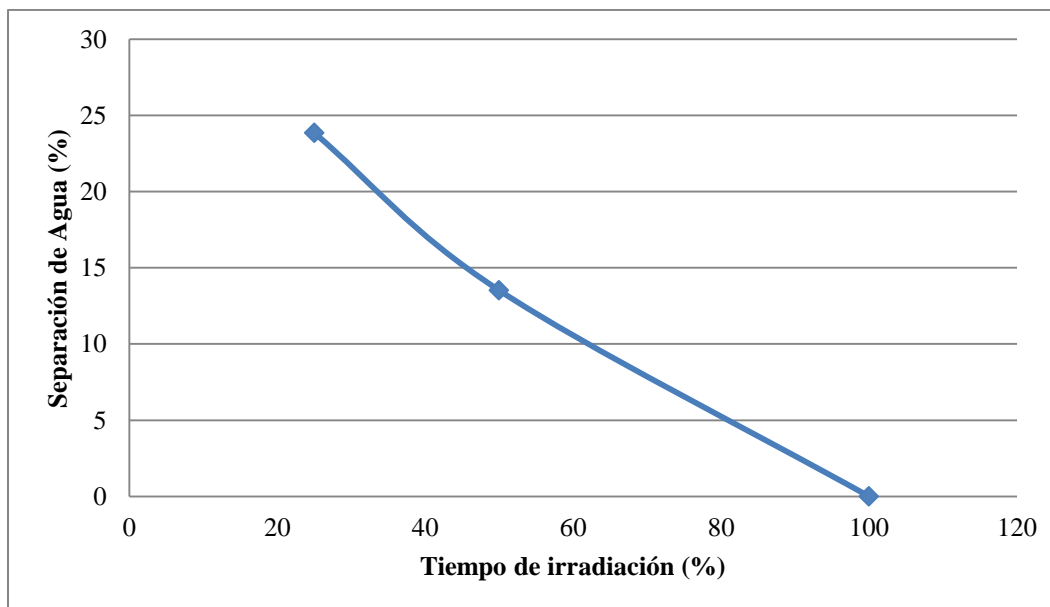


Figura 23: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Acema-100.

Ahora se muestra el resultado para esta fosa obtenido físicamente, que puede apreciarse en la figura 24

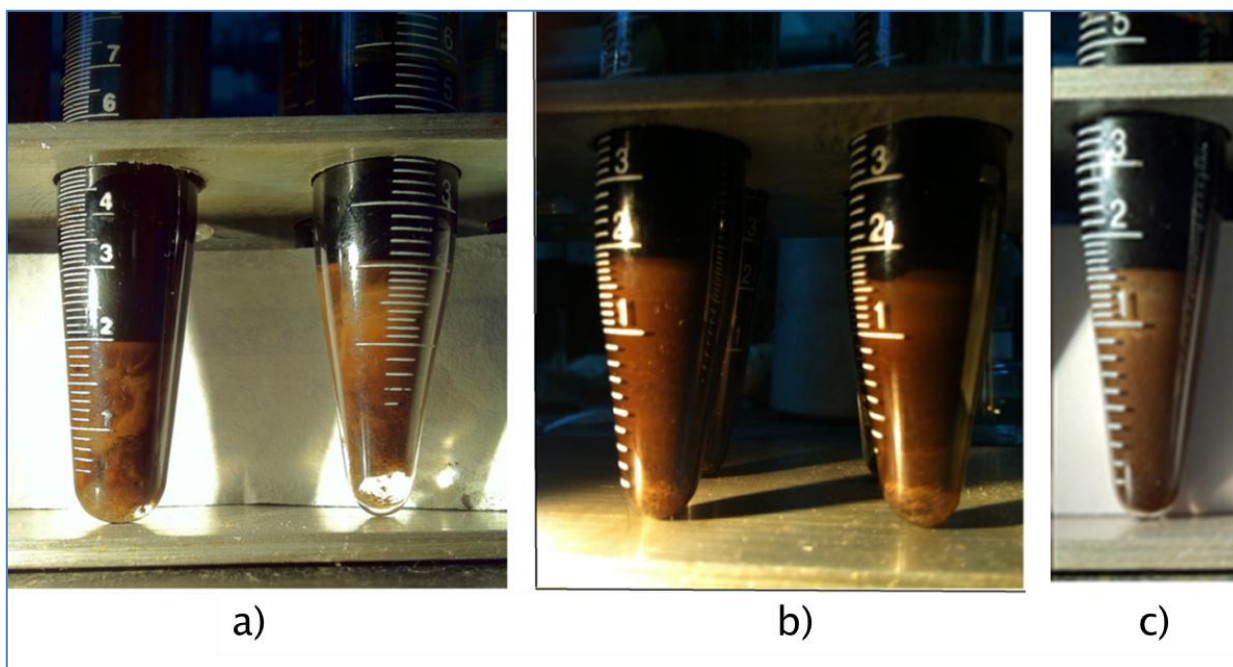


Figura 24: Acema-100. a) Muestras irradiadas a un 25% del tiempo de exposición máxima.
b) Muestras irradiadas a un 50% del tiempo de exposición máxima.
c) Muestra irradiada al 100% del tiempo de exposición máxima.

Para los resultados de Merey-31, se tomó como tiempo máximo de irradiación 270 segundos, obteniendo los resultados de separación que aparecen en la tabla 13.

Tabla 13: Resultados obtenidos para las experiencias al 25 y 50 % del tiempo máximo, para la fosa Merey-31.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
25	15,19	15,19	0,00	3,0	68	0,5	0,15	0,05	0,20
25	16,14	16,14	0,00	3,2	68	0,6	0,20	0,10	0,30
50	16,32	16,31	0,06	3,3	135	0,6	0,38	0,02	0,40
50	17,70	17,69	0,06	3,1	135	0,6	0,40	0,05	0,45

En base a estos resultados, se calculan las relaciones volumétricas correspondientes.

Tabla 14: Relaciones volumétricas obtenidas con el 25 y 50 % del tiempo máximo de irradiación, para la fosa Merey-31.

Porcentaje tiempo máximo (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Porcentaje de agua separado (%)	Porcentaje de agua en microemulsión (%)
25	3	0,48	2,52	0,33	0,17	2,35	31,25	68,75
25	3,2	0,51	2,689	0,312	0,29	2,4	39,06	60,94
50	3,3	0,53	2,77	0,15	0,25	2,52	71,97	28,03
50	3,1	0,49	2,60	0,09	0,15	2,45	80,65	19,35
100	4	0,64	3,36	0,54	0,06	3,30	15,63	84,38

Ahora se logra obtener la gráfica mostrada en la figura 25, la cual corresponde al porcentaje de separación en función del porcentaje del tiempo de exposición referente a Merey-31.

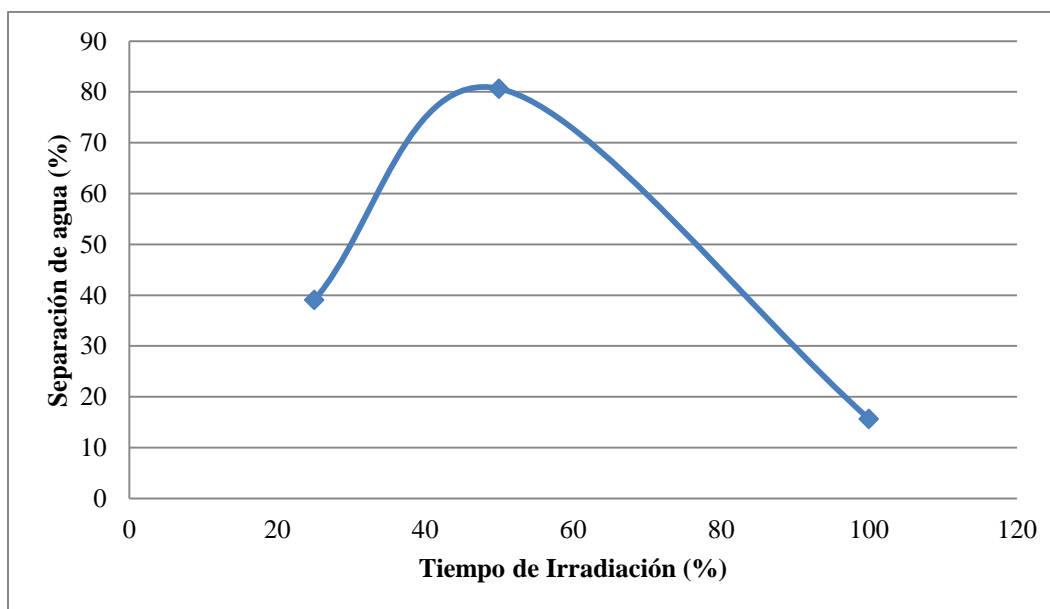


Figura 25: Porcentaje de separación de agua en función del Porcentaje de tiempo de irradiación con respecto al tiempo máximo a una potencia fija del 100 %. Fosa Merrey-31.

La figura 26 ilustra el resultado obtenido en la tabla y luego en la gráfica para Merrey-31 a las condiciones de 25 y 50%.

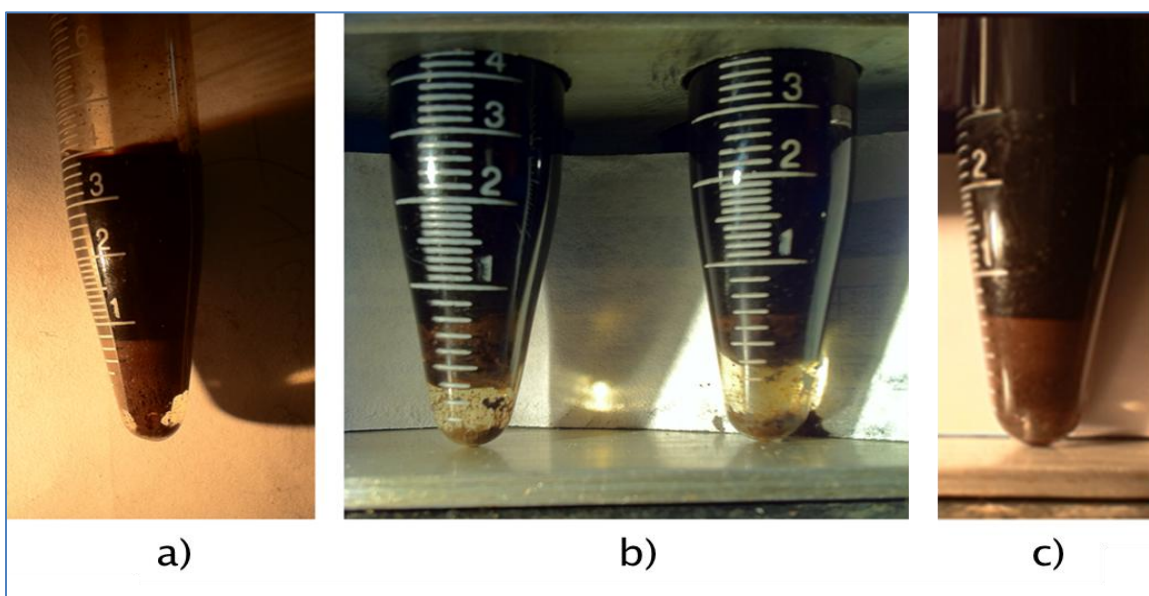


Figura 26: Merrey-31. a) Muestra irradiada a un 25% del tiempo de exposición máxima.

b) Muestras irradiadas a un 50% del tiempo de exposición máxima.

c) Muestra irradiada al 100% del tiempo de exposición máxima.

Al comparar los resultados de todas las fosas se tiene que se produce repetitividad en los resultados y que la separación de agua no es directamente proporcional al tiempo de

permanencia bajo las microondas, es decir, que las fosas en estudio no requieren de largos períodos de tiempo para obtener los máximos porcentajes de agua separada. Las fosas Guara-2 y Merey-31, tienen en común que ambas poseen la mayor separación a un 50% del tiempo de irradiación, a diferencia de Acema-100, en la que se obtiene la mayor separación a menor tiempo de permanencia bajo la influencia de microondas, más específicamente al 25% del punto de exposición máxima.

Seguidamente se muestran todos los resultados obtenidos para esta experiencia.

Tabla 15: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Guara-2.

Potencia (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
20	16,83	16,83	0,00	3,0	85	1,8	0,2	0,2	0,4
20	16,38	16,38	0,00	3,0	85	2,5	0,2	0,3	0,5
50	16,05	16,04	0,06	3,9	85	0,8	0,3	0,2	0,5
50	15,64	15,64	0,00	4,0	85	0,7	0,3	0,3	0,6

La tabla 15 expresa los resultados de las separaciones obtenidas con las potencias mencionadas para la fosa Guara-2, donde se observa que la separación es muy pobre en comparación a otros resultados obtenidos en experiencias previas. Nuevamente, y al igual que en las pruebas anteriores, se calcularon las relaciones volumétricas pertenecientes a esta prueba.

Tabla 16: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Guara-2.

Potencia (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Porcentaje de agua separado (%)	Porcentaje de agua en microemulsión (%)
20	3,0	1,14	1,86	0,94	0,86	1	17,54	82,46
20	3,0	1,14	1,86	0,94	1,56	0,3	17,54	82,46
50	3,9	1,48	2,42	1,18	1,98	0,44	20,24	79,76
50	4,0	1,52	2,48	1,22	1,92	0,56	19,74	80,26
100	3,3	1,25	2,05	0,55	0,05	2,00	55,82	44,18

En la tabla 16 se expresan los resultados obtenidos para la fosa Guara-2, donde claramente se observa como la separación de agua es mayor a medida que la potencia se incrementa. En esta tabla se agregaron los resultados obtenidos para la mejor separación obtenida con una potencia de 100% en experiencias previas. De igual manera se sombraron las celdas que arrojaron la mejor separación de cada potencia, a fin de realizar la gráfica correspondiente.

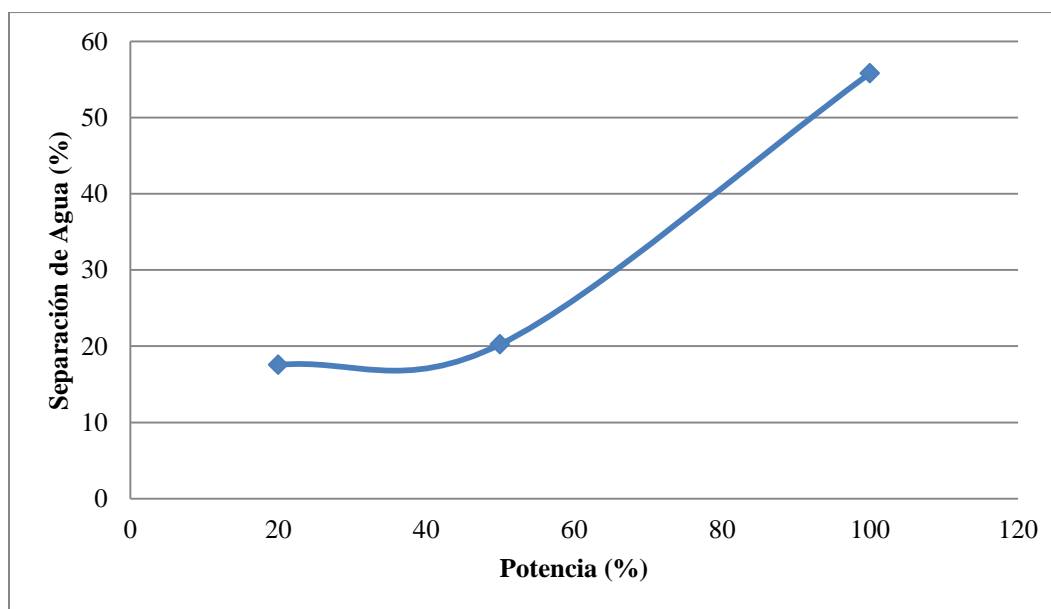


Figura 27: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Guara-2.

La figura 27 muestra claramente lo anteriormente mencionado, la separación es más eficiente para potencias mayores, lo que corresponde con lo previsto, pues a mayor potencia, mayor vibración molecular y mayor calor se producirá en la mezcla, lo que ayuda

a disminuir la viscosidad entre otros factores y por ende a que la separación se lleve a cabo más efectivamente.

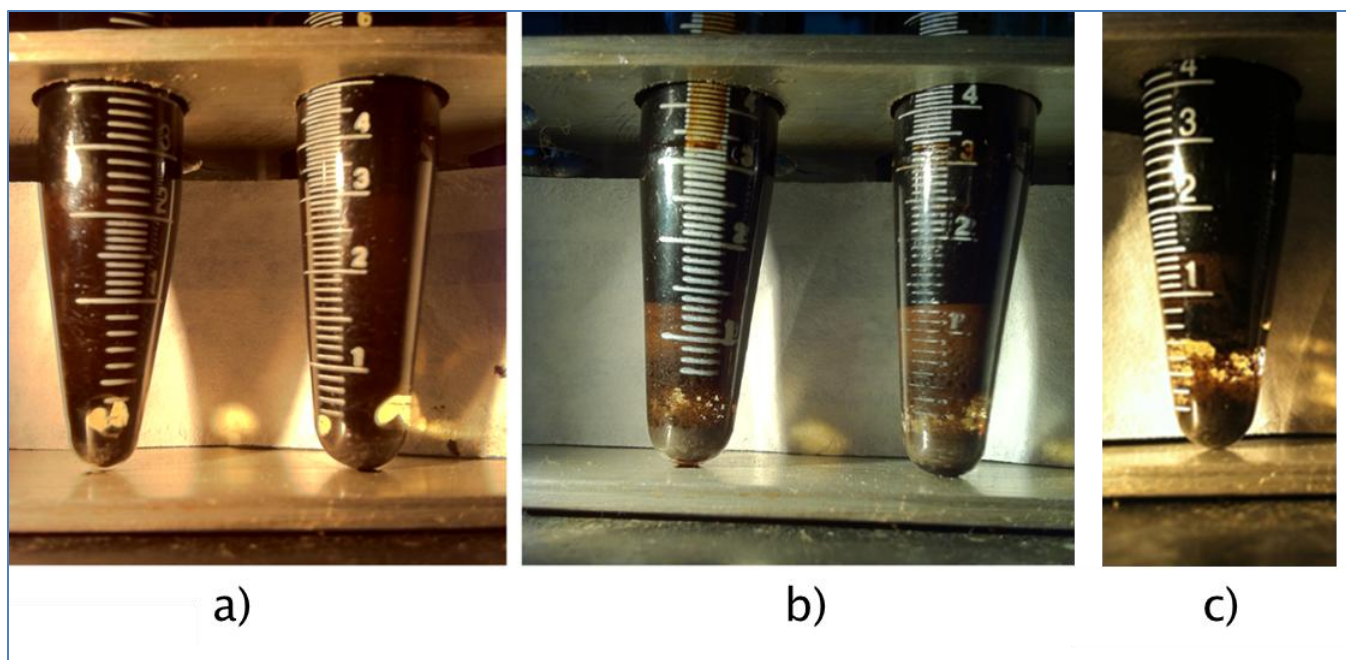


Figura 28: Guara-2. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia.

b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.

La figura 28 muestra las zanahorias con el resultado de la exposición a microondas al 20 y al 50% de potencia. Lo cual también ratifica que la mayor cantidad de agua separada corresponde a la muestra irradiada a mayor potencia.

De igual forma, se realizaron las experiencias a las otras dos fosas, para las cuales se presentan los resultados y gráficas para luego compararlas.

Tabla 17: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Acema-100.

Potencia (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
20	15,45	15,45	0,00	3,5	195	1,5	0,0	0	0,0
20	16,46	16,46	0,00	3,2	195	1,8	0,0	0	0,0
50	16,16	16,15	0,06	3,5	195	1,9	0,1	0	0,1
50	16,43	16,43	0,00	3,2	195	1,9	0,1	0	0,1

Se realizaron las relaciones volumétricas, obteniendo lo que se establece en la tabla 18.

Tabla 18: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Acema-100.

Potencia (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsion (ml)	Crudo en el tope (ml)	Porcentaje de agua separado (%)	Porcentaje de agua en microemulsión (%)
20	3,5	1,29	2,20	1,29	0,21	2,0	0,00	100,00
20	3,2	1,18	2,01	1,18	0,62	1,4	0,00	100,00
50	3,5	1,29	2,20	1,19	0,71	1,5	7,72	92,28
50	3,2	1,18	2,01	1,08	0,82	1,2	8,45	91,55
100	3,4	1,25	2,142	0,96	0,74	1,4	23,85	76,15

Esto permite Generar la gráfica siguiente.

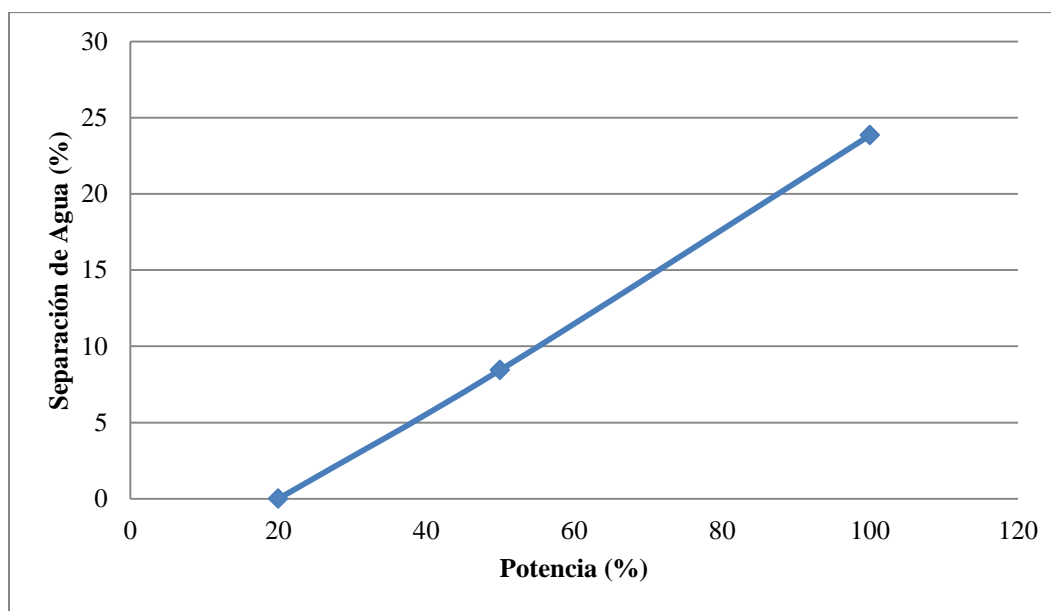


Figura 29: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Acema-100.

Las imágenes correspondientes a esta parte de la investigación para Acema-100, se muestra en la figura 30.

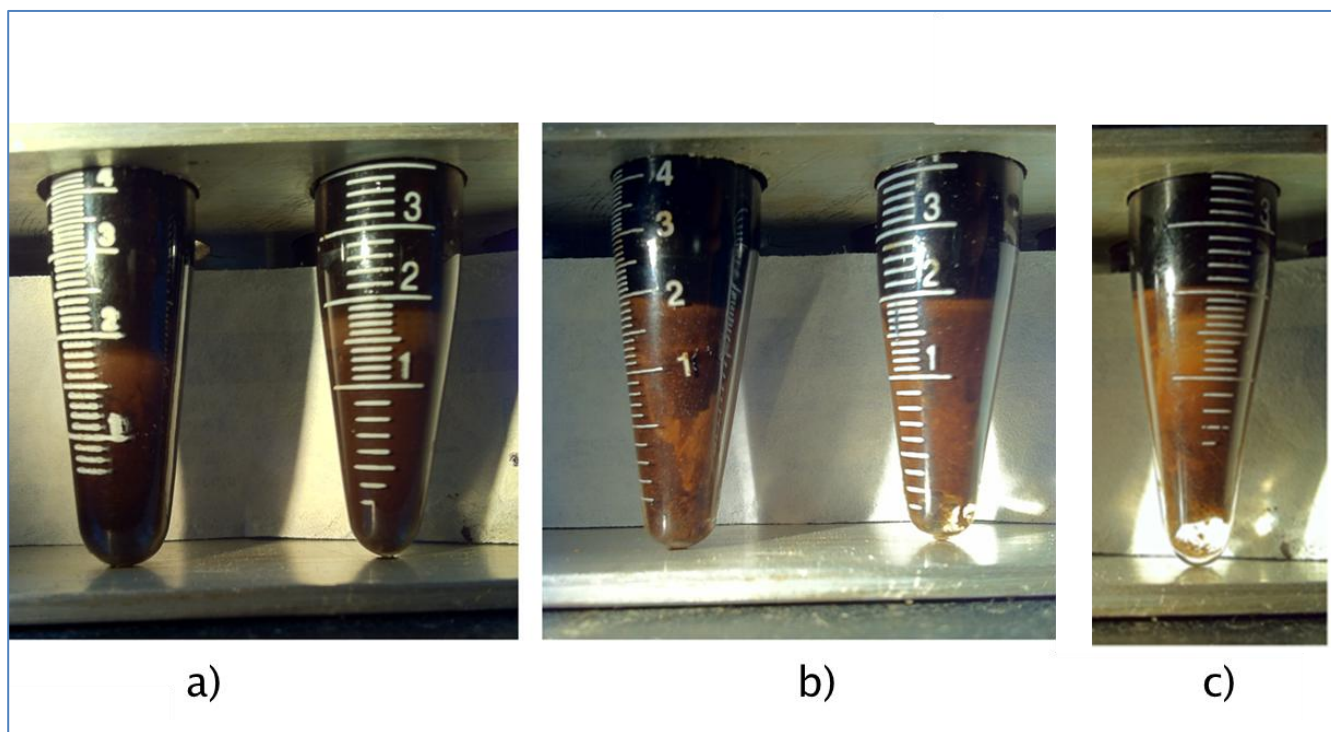


Figura 30: Acema-100. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia.

b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.

Luego se realizan las pruebas de potencia con la tercera fosa en estudio, dando lugar a los resultados de la tabla 19

Tabla 19: Resultados obtenidos para las experiencias al 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Merrey-31.

Potencia (%)	Masa 0 (g)	Masa f (g)	Masa perdida (%)	Volumen de la muestra (ml)	Tiempo exposición (s)	Microemulsión (ml)	Agua separada (ml)	Sedimentos (ml)	Agua + sedimentos (ml)
20	16,67	16,67	0,00	3,0	270	0,5	0,2	0,2	0,4
20	17,98	17,98	0,00	3,2	270	0,8	0,1	0,1	0,2
50	18,28	18,28	0,00	4,0	270	0,5	0,3	0,1	0,4
50	17,26	17,25	0,06	4,0	270	0,4	0,4	0,1	0,5

Se obtiene, como era de esperarse, que la separación de agua se incrementa con la aplicación de mayores potencias, lo que se corroborará con los resultados expresados en la tabla 20.

Tabla 20: Relaciones volumétricas obtenidas con el 20 y 50 % de Potencia, para la fosa Merrey-31.

Potencia (%)	Vol. Tolueno (ml)	Vol. agua en la muestra (ml)	Vol. crudo en muestra (ml)	Agua en microemulsión (ml)	Crudo en microemulsión (ml)	Crudo en el tope (ml)	Porcentaje de agua separado (%)	Porcentaje de agua en microemulsión (%)
20	3,0	0,48	2,52	0,28	0,22	2,3	41,67	58,33
20	3,2	0,51	2,69	0,41	0,39	2,3	19,53	80,47
50	4,0	0,64	3,36	0,34	0,16	3,2	46,88	53,13
50	4,0	0,64	3,36	0,24	0,16	3,2	62,50	37,50
100	3,1	0,49	2,60	0,09	0,15	2,45	80,65	19,35

Se tiene una vez más la correspondencia de los valores obtenidos con los valores esperados, donde la separación de agua es mayor para los niveles de potencia más elevados, como se puede apreciar en la tabla 19, la cual sirvió de base para realizar la grafica correspondiente a la figura 31.

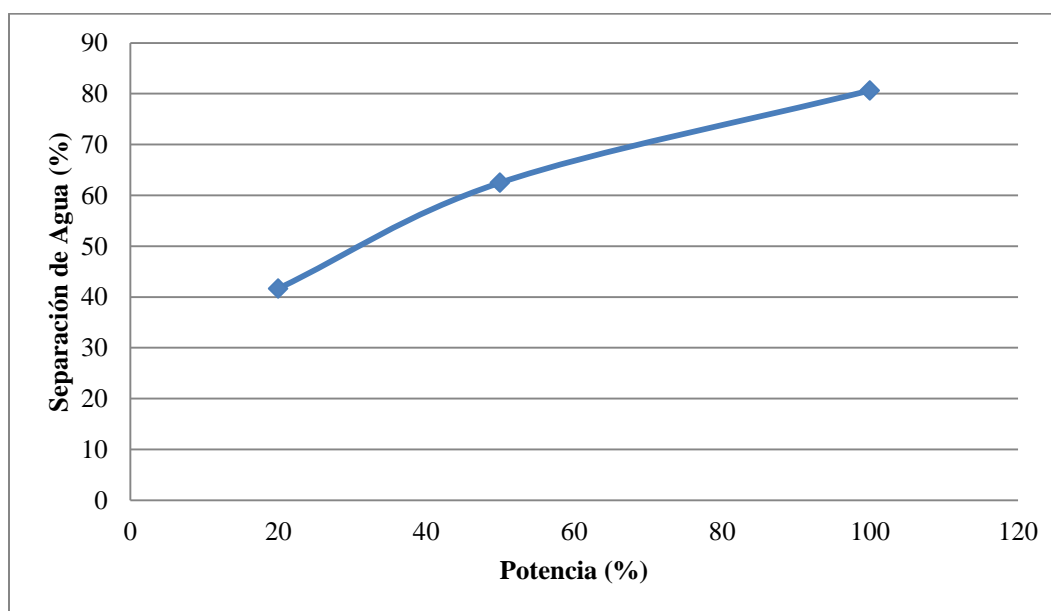


Figura 31: Porcentaje de separación de agua en función de la Potencia para un tiempo de irradiación fijo. Fosa Merrey-31.

Del mismo modo que se pudo apreciar en los resultados de las otras dos fosas en estudio, para Merrey-31, también se obtienen los valores esperados, que corresponden a mayor separación de agua a mayor potencia de irradiación. Pudiendo apreciar de mejor manera esto, a través de la figura 32.

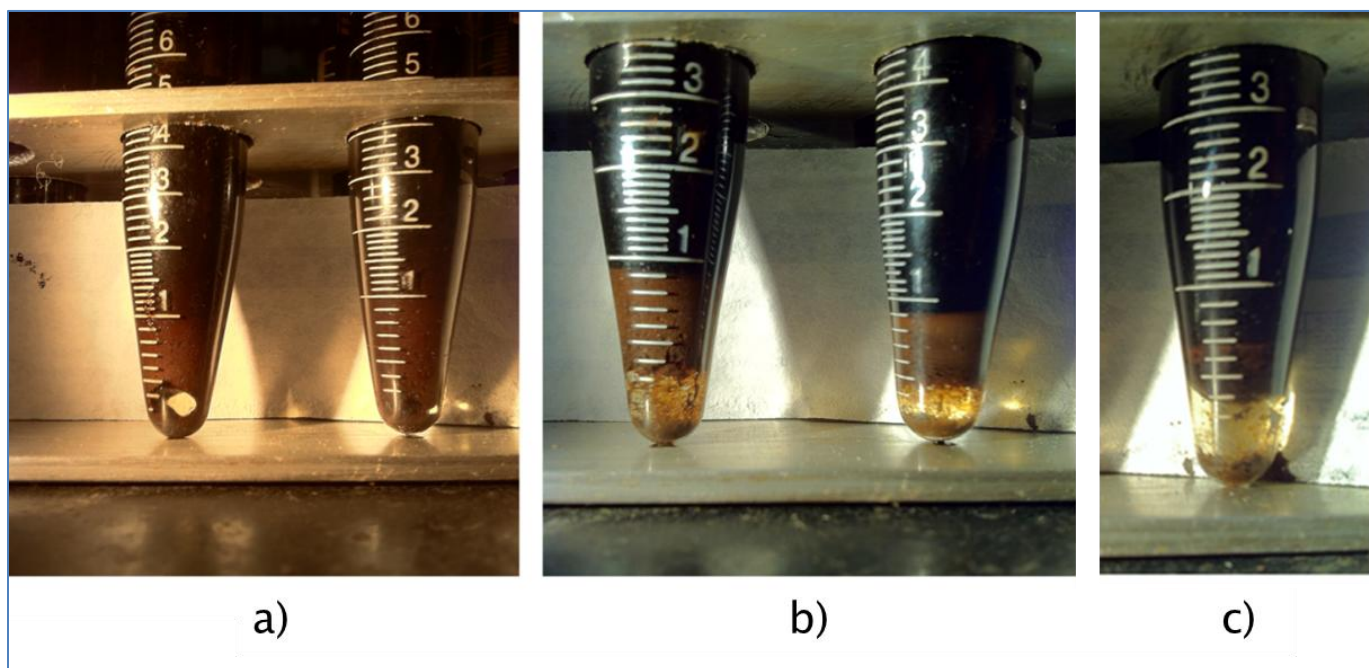


Figura 32: Merrey-31. a) Muestras irradiadas a un 20% Potencia.

b) Muestras irradiadas a un 50% de potencia. c) Muestra irradiada al 100% de Potencia.

Cabe destacar que para las tres muestras en estudio, el calentamiento de las muestras para el 50% de potencia era muy bajo, es decir, que la temperatura de los tubos no era tan alta como sucedía en experiencias anteriores (al 100% de potencia). En el caso de las pruebas realizadas al 20% de potencia, las zanahorias se encontraban prácticamente a temperatura ambiente, lo que evidencia que la potencia influye en gran magnitud en la vibración molecular que produce el calentamiento de las muestras.

Por lo tanto, luego de realizadas estas experiencias con las distintas fosas en estudio, es claramente apreciable de forma general que la mayor separación de agua se obtiene a la mayor potencia aplicada, como obtuvo Chan y Chen (2002).

IV.4 Análisis SARA y propiedades fisicoquímicas

El análisis de Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos de las fosas, fue realizado por algunos de los miembros del Laboratorio de Separaciones Mecánicas de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela. Obteniendo una serie de datos, que se muestran en la tabla 21, además se exponen los valores de viscosidad a una temperatura específica, gravedad API, y salinidad de cada una de las fosas, tomados

de investigaciones previas, todo esto para hacer un análisis más completo de los resultados que se obtuvieron en esta investigación. Con los datos de SARA de esta tabla se pudo realizar la gráfica que se muestra en la figura 33.

Tabla 21: Resultados obtenidos del análisis SARA realizado a las fosas en estudio

FOSA	S (%)	Ar (%)	R (%)	As (%)	Agua Total (%)	Viscosidad (cP)	Gravedad API	Salinidad (mS/cm) 24,7°C	Agua separada (%)
Guara	43,11	18,79	28,38	9,73	38	11500 (60°C)	12,5	17,43	55,82
Acema	44,47	19,40	29,22	6,91	37	2140 (50°C)	17,0	0,56	23,85
Merey	15,84	47,46	24,96	11,74	16	8430 (50°C)	12,3	6,99	80,65

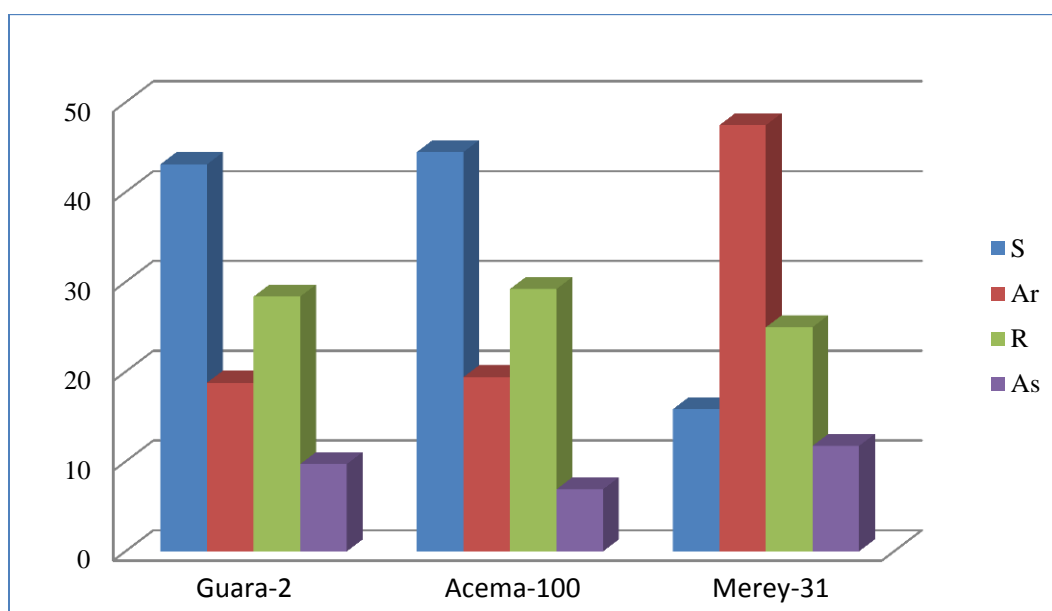


Figura 33: Análisis SARA para las fosas de Producción. (García, Gómez, González, en ejecución)

La figura 33 muestra un gran parecido entre las fosas Guara-2 y Acema-100, además de tener un porcentaje casi igual de agua total, ya que poseen exactamente casi la misma composición, con la pequeña diferencia se encuentra en que la fosa Guara-2 cuenta con un 2,82 % más de asfaltenos, lo que puede tener relación con la gran cantidad de sólidos que deja sedimentados en comparación a Acema.

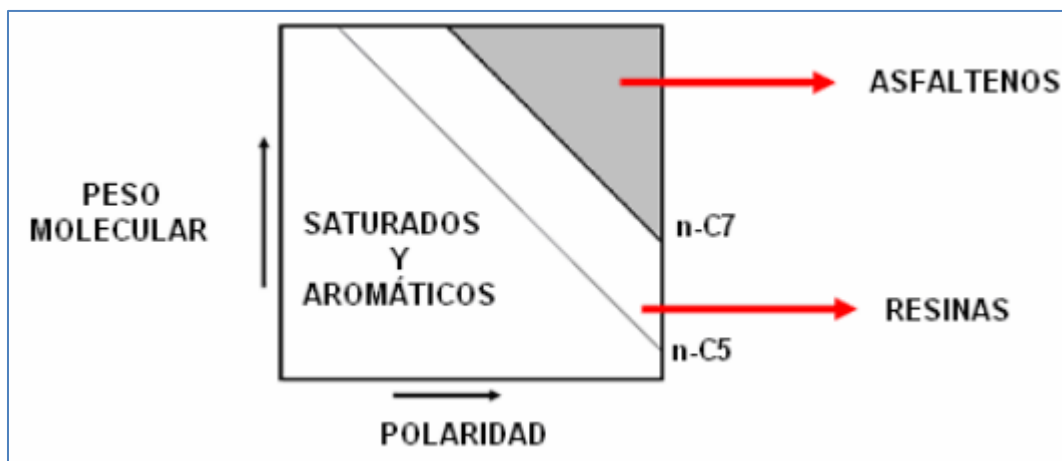


Figura 34: Peso molecular en función de la polaridad en el análisis SARA (García, 2009)

La figura 34 ilustra cómo varía la polaridad en la composición del análisis SARA, lo que quiere decir que a mayor cantidad de asfaltenos, mayor será la polaridad del crudo, y a mayor presencia de saturados y aromáticos el crudo será no polar o poco polar. Ahora bien, se observa que la cantidad de aromáticos que posee Merey-31 es muchísimo mayor (más del doble) que la que poseen las otras dos fosas, y valores relativamente iguales de resinas y asfaltenos, lo que hace a Merey-31 el crudo menos polar de las tres muestras, y basándose en la premisa establecida por Hirschfeldt (2011), de que los crudos polares presentan mayor afinidad con el agua por lo que sus emulsiones son más difíciles de tratar, se entiende que esta fosa presente la mayor separación de agua, por poseer una baja afinidad con el agua, llegando a poco más del 80% de separación.

Otro aspecto importante a tratar es la salinidad de su salmuera, según Marfisi y Salager (2004) establecen que el agua fresca o salmuera con baja concentración de sal favorecen la estabilidad de las emulsiones; por el contrario, altas concentraciones de sal tienden a reducir. Esto puede ser relacionado con la aplicación de microondas, como se sabe, el crudo es apolar y es transparente a las microondas, pero al poseer mayor salinidad esta radiación será absorbida en mayor magnitud, ayudando a la desestabilización de la emulsión. De las tres muestras de crudos, la mayor salinidad la presenta Guara-2, seguida por Merey-31, esto da a pensar que por poseer una mayor salinidad, la fosa Guara-2, presente el porcentaje de separación más alto, que como observamos en la tabla 21 ello no ocurre; esto se debe a la viscosidad, ya que una alta viscosidad impide el movimiento de las gotas en el crudo, lo que dificulta que estas se consigan y se unan para coalescer; como se

observa la mayor viscosidad la presenta Guara-2, por su parte Merey-31 presenta una salinidad intermedia, esto quiere decir que a pesar de que Guara-2 posee la mayor salinidad, también una viscosidad muy grande, por lo que hace que Merey-31 presente la mayor separación por tener una viscosidad mucho más baja pesar de su salinidad media. También queda evidenciada la gran influencia de la salinidad en el proceso de separación bajo este método, que Acema-100 a pesar de poseer una viscosidad bastante baja, su salinidad es muy baja, lo que hace que sea la fosa con la que se obtiene menor separación.

IV.5 Pruebas realizadas con el microscopio

Como se menciona en el marco metodológico, se realizó el conteo de gotas utilizando el microscopio óptico y el software correspondiente. Se mostrarán los resultados más importantes así como también los resultados obtenidos sin la irradiación de microondas.

IV.5.1 Comparación de resultados y gráficos Sin aplicación de microondas y las mejores separaciones de agua obtenidas al exponer a dicha radiación.

Las imágenes tomadas fueron analizadas con el software *Image Pro Plus 6.0*, y con las herramientas de cálculo proporcionadas por Fung (2011). El software y las herramientas se complementan con la siguiente tabla 22 de referencia, la cual da significado a cada uno de los símbolos que se emplearán en este análisis

Tabla 22: Descripción de parámetros utilizados. (Fung, 2011).

Parámetro	Descripción
$F_2(10\mu\text{m})$	Fracción de gotas con diámetro $\leq 10 \mu\text{m}$
$R_2(10\mu\text{m})$	Fracción de gotas con diámetro $> 10 \mu\text{m}$
D_{10}	Diámetro de gota para una fracción acumulada del 10 %
D_{50}	Diámetro de gota para una fracción acumulada del 50 %
$D_{\text{máx}}$	Diámetro de gota para una fracción acumulada del 100 %
$\phi_w (\%)$	Porcentaje de agua total
$\Phi_w (10\mu\text{m})$	Porcentaje de agua en gotas con diámetro mayor a $10\mu\text{m}$

Una vez conocidos estos parámetros, se presenta, en la tabla 23, los resultados obtenidos en el análisis de microscopía a las diferentes muestras de las fosas sin aplicación de microondas y la mejor separación de agua obtenida al aplicar esta radiación.

Tabla 23: Resultados obtenidos del análisis de microscopía aplicando y sin aplicar Microondas

Parámetro	Guara-2		Acema-100		Merey-31	
	Sin MW	Con MW	Sin MW	Con MW	Sin MW	Con MW
D₁₀	2,72	18,36	3,06	10,18	2,14	1,81
D₅₀	9,46	106,35	10,58	61,84	6,65	54,25
D_{máx}	26,45	157,41	36,83	105,15	13,63	127,88
F₂(10µm)	0,55	0,04	0,47	0,10	0,82	0,24
R₂(10µm)	0,45	0,96	0,53	0,90	0,18	0,76
Φ_w(%)	6,72	22,39	15,24	36,19	3,46	19,88

Estos valores fueron obtenidos mediante el uso de las herramientas de cálculo mencionadas anteriormente y se puede apreciar como el incremento del diámetro de gota, para cualquiera de las tres fracciones acumuladas, es mayor cuando se le ha aplicado microondas a la muestra; esto también queda evidenciado el aumento de las gotas, por acción de las microondas, al comparar los valores F₂ y R₂, donde la fracción de gotas con diámetros menores o iguales a 10µm (F₂) disminuye al aplicar la radiación, lo que quiere decir que la cantidad de gotas con diámetros mayores a 10µm (R₂) debe aumentar, y en efecto esto sucede para todas las muestras, llegando casi a un 100%, es decir que casi el total de las gotas que aparecen en la imagen poseen un diámetro mayor a 10 micras. También es comparable el porcentaje total de agua de la foto (Φ_w), que lejos de parecerse al contenido total de agua, nos dice la cantidad de agua que existe en la foto, y como se observa claramente en la los valores de la última fila de la tabla 21, para los tres casos este porcentaje aumenta de manera importante para las muestras irradiadas.

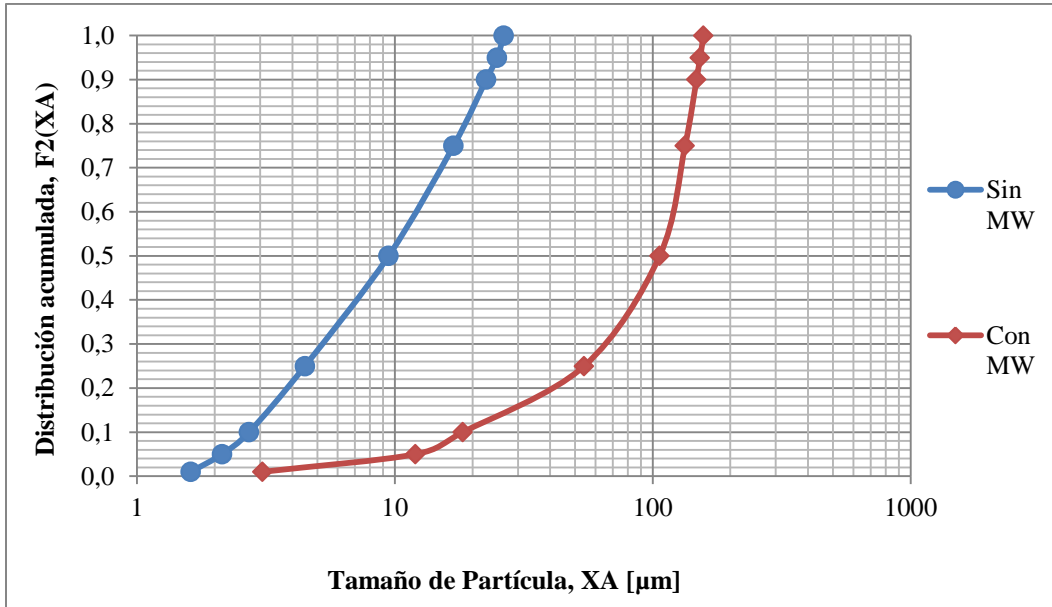


Figura 35: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Guara-2.

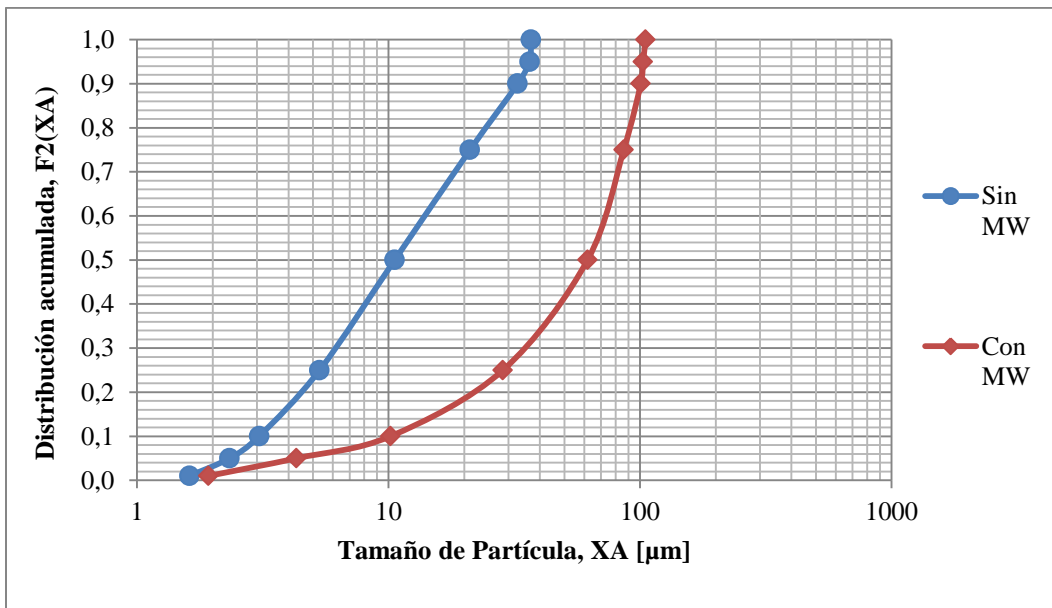


Figura 36: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Acema-100.

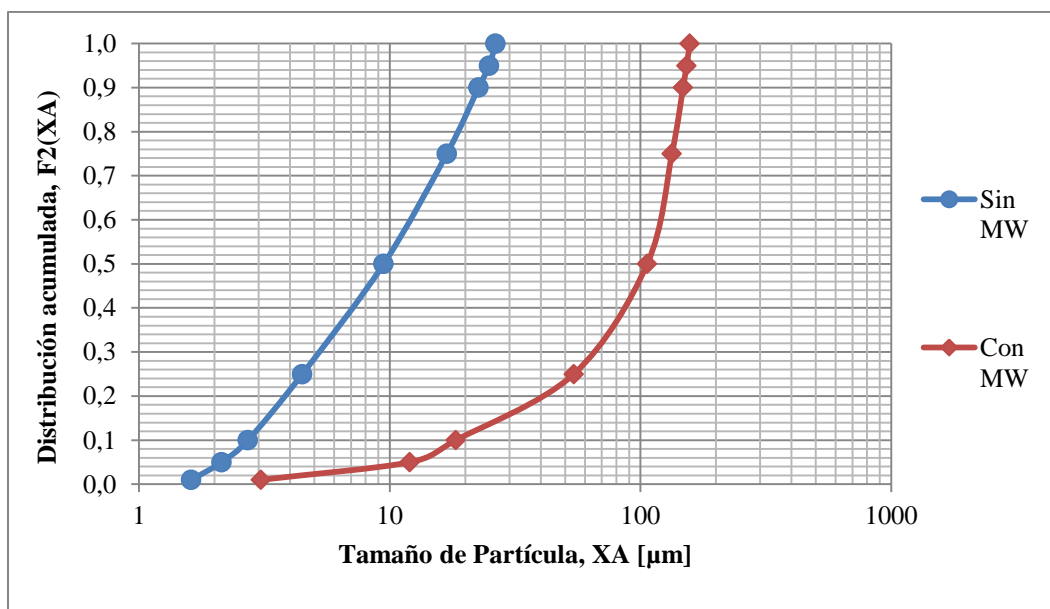


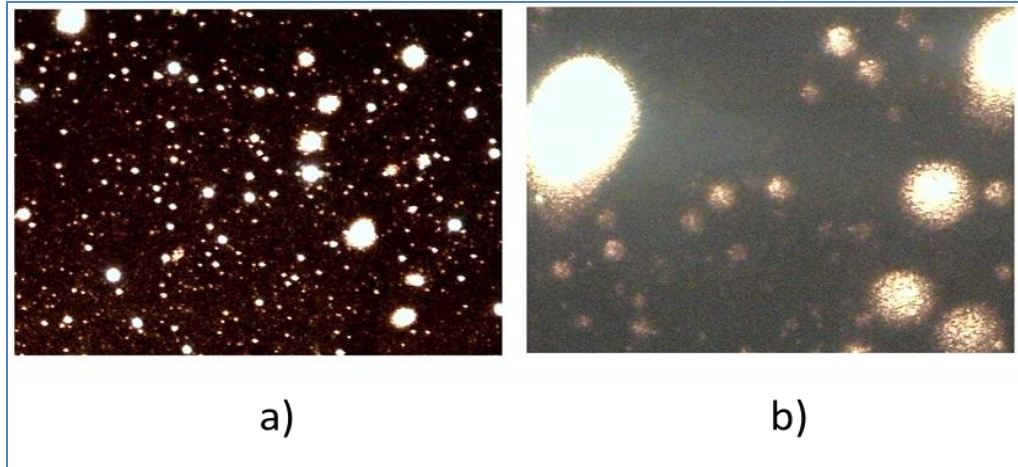
Figura 37: Distribución acumulada de tamaño de gotas de la muestra sin recibir microondas y la mejor separación obtenida aplicando la radiación para la fosa Merey-31.

Las tres últimas gráficas presentadas (figura 35, figura 36 y figura 37), muestran una distribución acumulada de gotas para cada una de las fosas, en las que se incluyó además para ilustrar de mejor manera la comparación de las muestras sometidas a microondas y las mismas sin recibir radiación, como se observa en la leyenda de las figuras, la línea roja corresponde al resultado de las muestras irradiadas, mientras que la azul lo es para los resultados de las muestras sin tratamiento. Se tiene que la distribución de tamaño de gota era muy baja para las tres fosas, teniendo además que el diámetro de las gotas es también pequeño. La línea roja por su parte, en los tres casos, se encuentra bastante separada de la contraparte azul, lo que demuestra lo anteriormente explicado; el tamaño de gota es mayor para todos y cada uno de los valores de distribución.

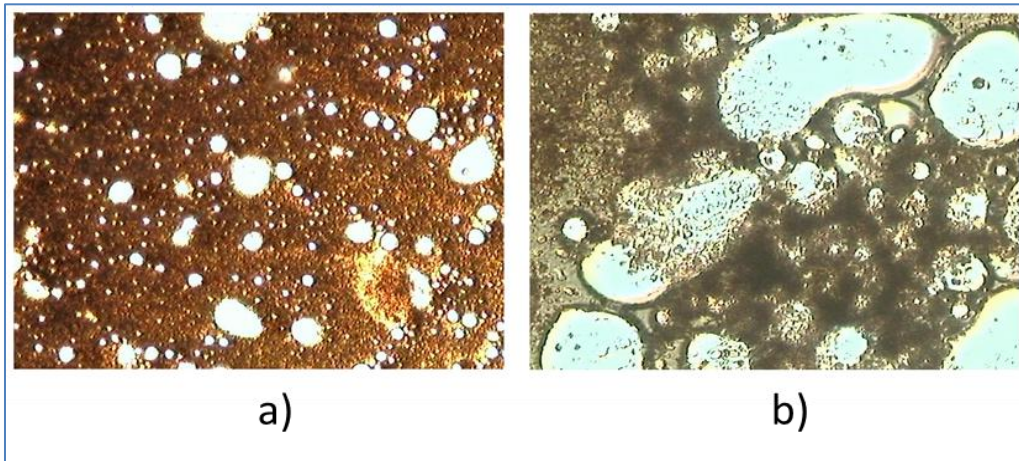
Vale acotar que las muestras que arrojaron mejores separaciones luego de ser irradiadas por microondas, fueron analizadas antes de someterlas al proceso de centrifugación, esto para apreciar la influencia directa de las microondas sobre el crudo, sin la intervención de otros factores como la dilución con Tolueno o la energía proporcionada en la centrifugación.

En resumen, lo que sucede es que las gotas que antes se encontraban dispersas y separadas en el crudo, con la aplicación de la energía de microondas, la película protectora de las gotas emulsionadas se rompe o debilita dando lugar a la coalescencia de las gotas

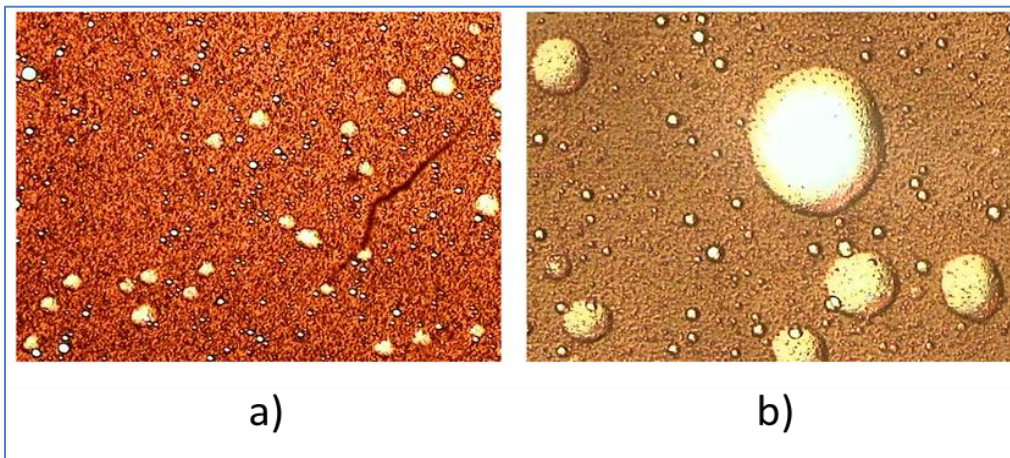
(Mutyala et. al., 2010) que ahora ocupan un área mayor en la imagen del microscopio. Comparando numéricamente esto, vemos que Guara-2 inicialmente poseía un diámetro máximo de 26,45 micrones, llegando luego de las microondas a 157,41 micrones, representando un aumento de casi 600% en el aumento del diámetro máximo de las gotas. Acema-100 antes tenía un diámetro máximo de gota de 36,83 micrones, luego de ser sometido al campo electromagnético tenía un valor de 105, 15 micrones, lo que representa un aumento de más del 280% en el incremento del tamaño de las gotas; y para Merey 31 inicialmente se tenían 13,63 micrones de diámetro, teniendo ahora un 127,88 micrones, es decir, un aumento del 938,2%. Estos valores sugieren una influencia bastante notable en el aumento del diámetro máximo por parte de las microondas. Lo anteriormente mencionado queda ilustrado de manera más clara en las siguientes imágenes comparativas, las cuales son correspondientes con las últimas gráficas presentadas.



**Figura 38: Guarana-2. a) Sin aplicación de microondas.
b) Luego de la irradiación con microondas.**



**Figura 39: Acema-100. a) Sin aplicación de microondas.
b) Luego de la irradiación con microondas.**



**Figura 40: Merey-31. a) Sin aplicación de microondas.
b) Luego de la irradiación con microondas.**

Se observa claramente el aumento del tamaño de gota en todas las muestras luego de aplicar la energía de microondas, corroborando las explicaciones anteriores.

IV.5.2 Análisis de la Microemulsión

Es llamada microemulsión a la interfase de color marrón claro que se produce luego de la centrifugación entre la capa de crudo y la capa de agua separada, la misma posee este color debido a la gran cantidad de agua que posee en su composición y debido a esto el color es mucho más claro que el original que posee el crudo. Como se mencionó anteriormente la microemulsión es una emulsión dentro de otra, es decir, son muchas gotas de agua que no lograron coalescer, en las cuales se encuentran gotas más pequeñas que siguen recubiertas por la capa de capa o película protectora de surfactantes, lo que demuestra la alta estabilidad y fortaleza de la misma. Se retiró cuidadosamente la capa superior de crudo disuelta con tolueno, que debido a su notable disminución de la viscosidad, pudo ser retirada poco a poco succionando con una jeringa, para así tomar una muestra de la zona de la interfase y, al igual que con las muestras anteriores, realizarle un análisis al microscopio para poder estudiar esta.

Tabla 24: Resultados obtenidos del análisis de las imágenes de las microemulsiones

Parámetro	Guara-2	Acema-100	Merey-31
D₁₀	17,90	12,09	15,86
D₅₀	95,94	84,58	166,49
D_{máx}	167,44	142,06	226,42
F₂(10μm)	0,04	0,07	0,08
R₂(10μm)	0,96	0,93	0,92
Φ_w(%)	36,48	51,13	51,99

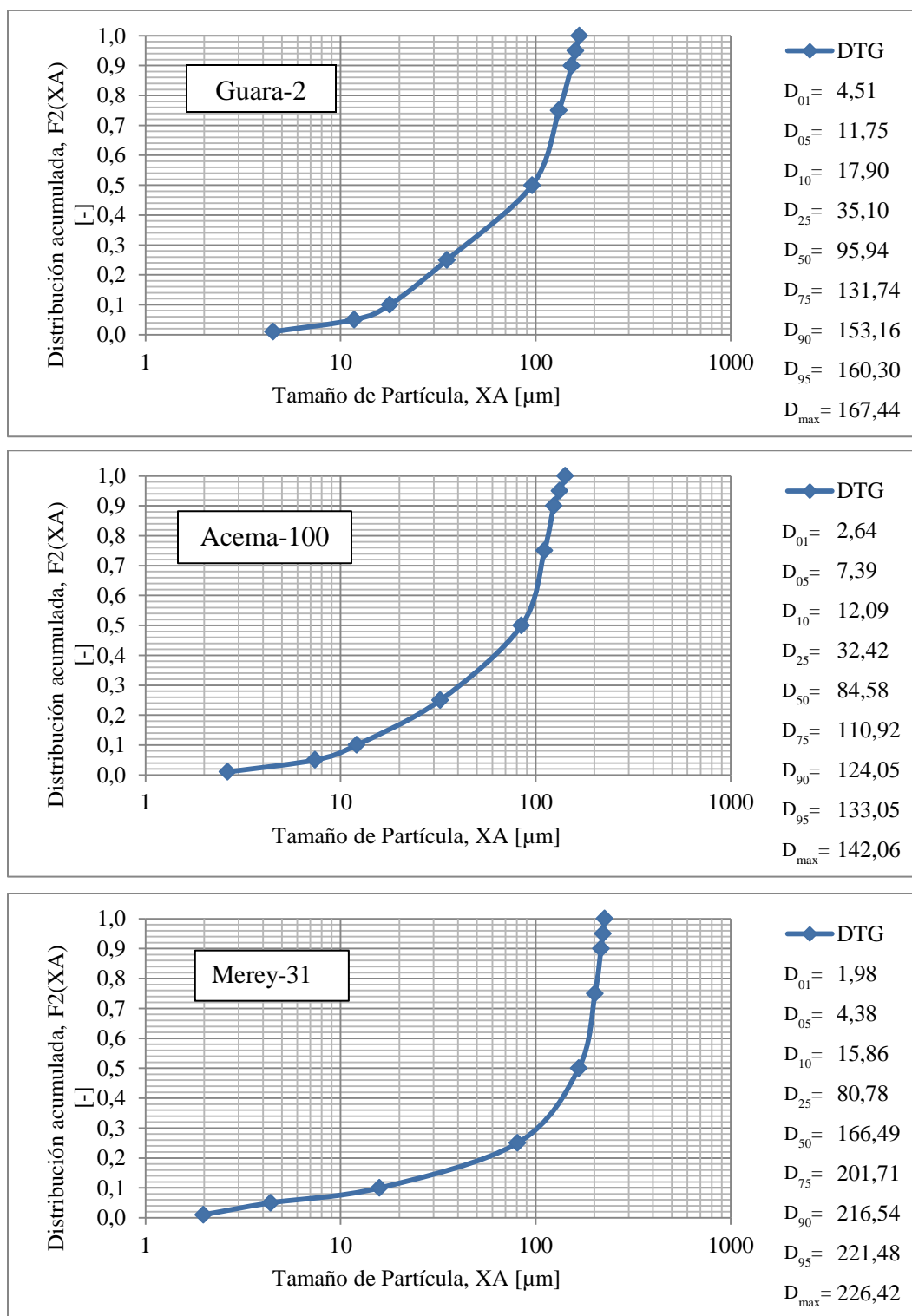


Figura 41: Distribución acumulada de tamaño de gotas obtenida para las fosas, Guara-2, Acema-100 y Merrey-31.

Estas gráficas (figura 41) y la tabla 24 muestran que a medida que el tamaño de gota aumenta, lo cual no es correcto, es decir, la cantidad de agua en la microemulsión es

mucho mayor pero no quiere decir que las gotas tengan mayor tamaño, de hecho es todo lo contrario, las gotas están muy juntas pero no coalescen debido a la rigidez, ya mencionada, de la película que recubre a las gotas de esta zona y poseen un tamaño regular, lo que sucede aquí es que el software de conteo de gotas, al estar éstas tan unidas, dicho programa las detecta y cuenta de manera uniforme, dando lugar a que muchas gotas que están muy cerca mas no unidas el programa las cuenta como una gran gota. Lo que si es comparable de estos gráficos es que el porcentaje de agua de las fotografías analizadas es mayor al obtenido en los análisis anteriores, y sucede para las tres fosas. Podemos observar lo anteriormente mencionado en la figura 42, donde se muestran las tres microemulsiones analizadas en los gráficos anteriores, correspondientes a las mejores separaciones de las muestras.

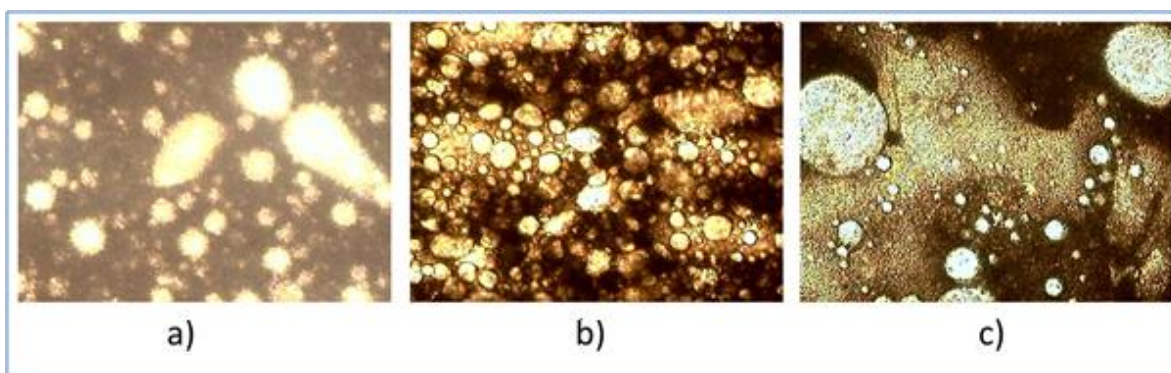


Figura 42: Imágenes de las microemulsiones obtenidas.

a) Guara-2. b) Acema-100. c) Merrey-31.

Como se aprecia claramente, y al comparar estas imágenes con las imágenes correspondientes a las fosas que se les fue impuesta la irradiación de microondas, se puede entender lo anteriormente mencionado, las distribuciones de tamaños de gotas para todas las muestras es menor que en las muestras sometidas a microondas, pero a su vez la cantidad de agua total en la imagen es mucho mayor para el caso de las microemulsiones.

Por ultimo se muestran las imágenes de la parte superior de las muestras una vez centrifugadas.

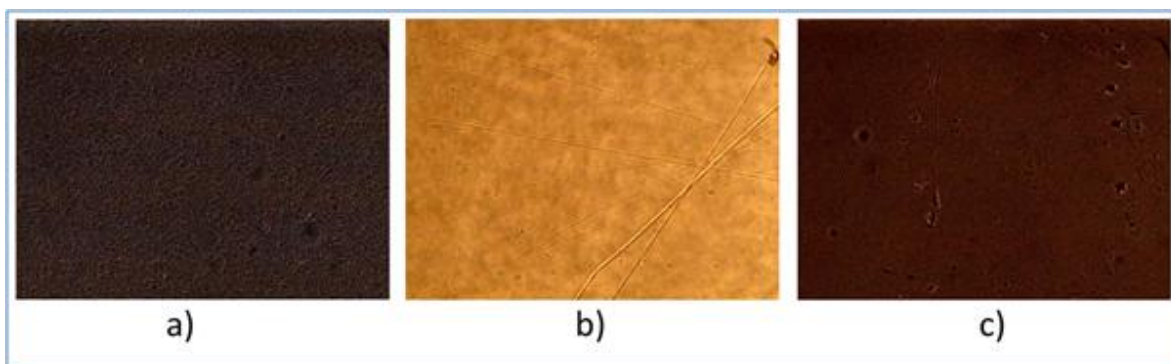


Figura 43: Imágenes del tope de las muestras al final de la centrifugación.

a) Guara-2. b) Acema-100. c) Merrey-31.

La figura 43 muestra porqué no fueron analizadas con las herramientas de cálculo y conteo de gotas las muestras luego de la centrifugación, y además porqué fue tomada la suposición, para realizar las relaciones volumétricas, de que en la parte superior de la emulsión sólo quedó el hidrocarburo disuelto en tolueno. Los colores también corresponden con su viscosidad, cuanto más viscoso más oscura se verá la muestra, a pesar de que la disolución con tolueno disminuye en gran medida esta propiedad, el resultado final será proporcional a su viscosidad inicial, por ejemplo, como la fosa Acema-100 es la menos viscosa de las tres, al diluir con tolueno lo será igualmente, por lo tanto presenta el tono más claro de las 3 muestras, incluso hasta dejando ver las líneas y marcas del vidrio del portaobjetos.

CONCLUSIONES

Como conclusiones de esta investigación llevada a cabo, se establecen los siguientes puntos, basados en primera instancia en los objetivos planteados:

- El proceso de centrifugación provee energía adicional que ayuda a la fase más densa de la muestra a decantar más rápido.
- El punto de exposición máxima conserva la misma tendencia para las tres fosas en estudio, en primer lugar la separación se hace más efectiva a medida que aumenta el tiempo de exposición, hasta que comienza a descender producto de la evaporación.
- Las pruebas a diferentes porcentajes del tiempo máximo arrojan resultados que concuerdan con los anteriores. El mejor tiempo de separación para Acema-100 es del 25% y tanto para Guara-2 como para Merey-31 es del 50% del máximo tiempo de irradiación.
- Mayor tiempo de irradiación no se traduce en mayores porcentajes de separación.
- La mejor separación se da a la potencia más alta (100%), bajas potencias no proporcionan la energía suficiente para la coalescencia de las gotas.
- La vibración molecular y la conducción iónica a bajas potencias es evidentemente baja, debido al poco aumento de la temperatura producido.
- Las microondas ayudan a la separación del agua del crudo, comparando esta técnica con un proceso simple de centrifugación.
- La distribución de tamaño de gota es considerablemente mayor para las muestras que recibieron microondas que para las que no recibieron ningún tipo de energía.

- La cantidad de sólidos separados, para las muestras donde esto se presentó, se mantiene constante a pesar de la cantidad o intensidad de las microondas. Lo que concluye en que las microondas no aumentan ni disminuyen la cantidad de sólidos separados.
- La Salinidad de la fosa afecta directamente a la separación de agua. A mayor salinidad mayor separación, a la medida que la viscosidad lo permita.
- La polaridad del crudo influye directamente en la separación de agua, a menor polaridad, menor interacción con el agua que dará mayor separación.

RECOMENDACIONES

A continuación se muestran las recomendaciones para futuros proyectos relacionados con las técnicas empleadas en esta investigación o para la continuación de la misma, a fin de ampliar y entender a profundidad la influencia de esta energía en la deshidratación de crudos.

- Realizar las pruebas a escalas mayores, a fin de poder obtener mayor cantidad de agua separada, a la que se le puedan realizar diversas pruebas de análisis, como la medición de conductividad y pH.
- Variar la potencia a lo largo del tiempo para comparar si se consiguen separaciones iguales ahorrando más energía.
- Diseñar un equipo que permita realizar las experiencias como un proceso continuo y no batch.
- Tratar de eliminar el plástico protector de la compuerta del microondas, a fin que permita determinar con mayor precisión el punto de ebullición de las muestras, ya que la idea de la membrana de látex no funcionó.
- Agitar mientras se calienta la muestra en el microondas, con el propósito de favorecer la coalescencia.
- Realizar las experiencias a bajas potencias pero por un período de tiempo mucho mayor.
- Comparar este método de deshidratación con otros, realizado bajo las mismas condiciones de laboratorio.

- Realizar el fraccionamiento SARA de las muestras una vez sometidos a microondas y antes de la centrifugación, para estudiar el efecto de las microondas en estos componentes.
- Realizar la centrifugación con otra o varias relaciones de crudo/solvente, para estudiar la influencia de la dilución en este proceso y también si es posible llevar todas las muestras a la misma viscosidad a fin de poder comparar entre sí estas fosas.
- Realizar las experiencias a distintas velocidades de centrifugación, preferiblemente a mayores velocidades, si se dispone de un equipo para ello.
- Incluir medios coalescedores (como vidrio, polímeros, etc.) en el proceso, para ayudar a una mayor separación.
- Si es posible, probar los experimentos cambiando la frecuencia del microondas.
- Someter las muestras a un segundo paso por microondas a fin de buscar romper la microemulsión y obtener mayor cantidad de agua separada.

REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS

- Abdulari, H.; Abdurahman, N.; Rosli, Y.; Mahmood, W. y Azhari, H. (2011) **Demulsification of petroleum emulsions using microwave separation method.** International Journal of the Physical Sciences. Vol. 6. No. 23. Pgs 5376-5382.
- Bastidas, M (2008). **Extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM) y extracción asistida por ultrasonidos (EAU).** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Chan, C. y Chen, Y. (2002) **Demulsification of W/O emulsions by microwave radiation.** Separation Science and Technology. Vol. 37. No. 15. Pgs 3407-3420.
- Eow, J. y Ghadiri, M. (2001). **Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil:a review of the technology.** Chemical Engineering Journal Vol. 85. Pgs 357–368.
- Eow, J.; Ghadiri, M.; Sharif, O. y Williams, T. (2000). **Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the current understanding.** Chemical Engineering Journal Vol. 84. Pgs 173-192.
- Fang, C.S. y Lai, P.M.C. (1995) **Microwave heating and separation of water-in-oil emulsions.** Journal of Microwave Power an Electromagnetic Energy. Vol 30. No. 1. Pgs 46-57.
- Fernandez, L (2010). **Ciencias Físicas Primero.** Consultado el 26 de abril de 2012 en: <http://cs-fs-primero.blogspot.com/2011/04/espectro-electromagnetico.html>.
- Fini A; Breccia, A. (1999). **Chemistry by microwaves. Pure Application Chemistry.** Vol. 71, 573-579.
- Fung, Edward (2011). **Separación electrostática con corriente directa para desestabilizar emulsiones w/o de distintas fosas de producción mezcladas con**

- solventes.** Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Química. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Fung, Edward (2011). **Sistematizar las técnicas de caracterización de emulsiones de fosas: estudio de sistemas con análisis de imágenes.** Pasantía de Investigación. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Gallawa J. (2000) **Basic Principles of Microwave Energy.** Consultado el 1 de mayo de 2012 en: http://www.gallawa.com/microtech/Ch2_Sample.pdf.
- García, J.; (2011). **Ciencias de Joseleg. Ondas electromagnéticas.** Consultado el 26 de abril de 2012 en: <http://cienciasdejoseleg.blogspot.com/2011/12/ondas-electromagneticas.html>
- García, M.; (2009). **Obtención de las distribuciones de tamaño de partículas en el umbral de precipitación de asfaltenos de crudos de petróleo. Influencia del uso de aditivos.** Trabajo de fin de Carrera de Ingeniería Química. Escuela superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Madrid, España.
- Harris, J. (1996). **Hydrocarbon Process.** Journal of Colloid and Interface Science Vol. 75. Issue 8. Pgs 63–68.
- Hirschfeldt, M., (2011) **Estudios y Servicios Petroleros SRL. La Polarida: Una propiedad poco conocida de los petróleos crudos.** Nota técnica N° 15 – Versión 2. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 6 pgs.
- Klaila, W. **Method and apparatus for controlling fluency of high viscosity hydrocarbon fluids,** US Patent No. 4.067.683. January 10 (1978).
- Kuo, C.; Lee, C. (2010) **Treatment of oil/water emulsions using seawater-assisted microwave radiation.** Separation and purification technology. Vol. 74. Issue 3. Pgs 288-293.

- López, E. (2004). **Influencia de la Formulación sobre la Estabilidad de Emulsiones**. Tesis Magistral. Laboratorio FIRP (Formulación, Interfase, Reología y Procesos). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Liu, C. (2002) **Microwave assisted organic synthesis**. Literature Seminar.
- Marfisi, S. (2005) **Estabilidad de emulsiones relacionada con el proceso de deshidratación de crudos**. Tesis doctoral. Laboratorio FIRP (Formulación, Interfase, Reología y Procesos). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Marfisi, S. y Salager, J. (2004) **Deshidratación de Crudos – Principios y Tecnología**. Cuaderno FIRP No. 853PP. Laboratorio FIRP (Formulación, Interfase, Reología y Procesos). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Méndez, A.(2005) **Desestabilización de emulsiones provenientes de lodos de fosas para la recuperación de crudo usando solventes orgánicos y sales**. Trabajo de grado. Maestría Ingeniería Química. Universidad Central de Venezuela.
- Mutyala, S.; Fairbridge, C.; Paré, J.; Bélanger, J.; Ng, S.; y Hawkings, R. (2010) **Microwave applications to oil sands and petroleum: A review**. Fuel Processing Technology Vol. 91. Issue 2. Pgs 127-135.
- Norma ASTM D 95-62. (1995). **Agua por Destilación**. American Society for Testings and Materials.
- Norma ASTM D 2007-11. (1995). **Standard Test Method for Characteristic Groups in Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method**. American Society for Testings and Materials.
- Norma ASTM D 2892 - 11a. (1995). **Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column)**. American Society for Testings and Materials.

- Norma ASTM D 4007. (1995). **Standard Test Method for Water and Sediment in Crude Oil by Centrifuge Method (Laboratory Procedure)**. American Society for Testings and Materials.
- Padrón, A.; y Zúñiga, P. (2005) **Aplicación de la técnica de microscopía óptica para la caracterización de sistemas dispersos formados por crudo, agua y sólidos**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Rajacović, V. y Skala, D. (2006) **Separation of oil-in-water emulsions by freeze/thaw method and microwave radiation**. Separation and purification technology. Vol. 49. Issue 2. Pgs 192-196.
- Sloblom J. (2002). **Emulsions Stability**.UK. Taylor & Francis. 668 pág.
- Smith, H.V. y Arnold, K. (1993). **Crude Oil Emulsions. Petroleum Engineering Handbook**. Capítulo 19.
- Sorrentino J. A. (2002). **Advances in correlating filter cake properties with particle collective characteristics**, Tesis Doctoral Universidad de Karlsruhe. Shaker Verlag. Alemania.
- Taylor, S. (1992) **Chem. Ind.** Journal of Colloid and Interface Science Vol. 20. Pgs 770-773.
- Wauquier, J. (2004) **El Refino del Petróleo**. 1era edición en español. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. 488 p.
- Wolf, N. **Use of microwave radiation in separating emulsion and dispersion of hydrocarbons and water**, US Patent No. 4.582.629. April 15 (1986).
- Xia, L.; Lu, S. y Cao, G. (2004) **Stability and demulsification of emulsions stabilized by asphaltenes and resins**. Journal of Colloid and Interphase Science. Vol. 271. Issue 2. Pgs 504-506.