

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**“EVALUACIÓN DEL MÉTODO PARA DESHIDRATAR HIDROCARBUROS
ASISTIDA POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN MUESTRAS DE
CRUDOS MEDIANOS”**

REALIZADO POR:

CHIRINOS ALCAZAR, José Nazareth

URBANO RUIZ, Yenire Josefina

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial

para Optar al Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEO

Puerto la Cruz, Noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO



**“EVALUACIÓN DEL MÉTODO PARA DESHIDRATAR HIDROCARBUROS
ASISTIDA POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN MUESTRAS DE
CRUDOS MEDIANOS”**



JURADO CALIFICADOR

Ing. Rayda Patiño. (M.Sc.)

Asesor Académico

Ing. Simón Ruiz

Jurado Principal

Ing. Oly Guerra (M.Sc)

Jurado Principal

Puerto la Cruz, Noviembre de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO**



**“EVALUACIÓN DEL MÉTODO PARA DESHIDRATAR HIDROCARBUROS
ASISTIDA POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN MUESTRAS DE
CRUDOS MEDIANOS”.**

Tutor(a) Académico

Ing. Rayda Patiño (M.Sc)

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
Parcial para Optar al Título de:
INGENIERO DE PETRÓLEO**

Puerto la Cruz, Noviembre de 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A Dios, por darme muestra cada día que es válido caerse pero obligatorio levantarse y que después de los malos momentos llegan los buenos.

A mis padres, por apoyarme en todo momento y estar disponibles siempre.

A Xiomara Martínez, por brindarme su ayuda y ser mi segunda madre.

A mi amiga y compañera de tesis, brindarme su amistad, compartir momento buenos y malos y por ayudarme a tomar todos los problemas que se presentaron con calma.

José N. Chirinos A.

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen principalmente porque nos ayudaron a tener paciencia para poder terminar este proyecto para obtener uno de las tantas metas que me he propuesto en mi vida y poder decir **SOY INGENIERO DE PETRÓLEO.**

A mi papa José Urbano, que es la ALEGRÍA de mi vida, me ha enseñado que todos los problemas en la vida tienen solución y a sonreírle a pesar de las adversidades que esta tiene, que me ha apoyado incondicionalmente durante mi vida. Es el mejor padre que me pudo dar la vida, por eso siempre le estaré eternamente agradecida. TE AMO PAPI.

A toda mi familia, en especial a mis abuelos Yolanda Ruiz y mi abuelito Pedro Escobar que aunque no esté conmigo en este momento se que está muy orgulloso de mi, a mis hermanitas bellas Yesenia, Yabetzy, Yenifer a mi mama Yelitza Ruiz y mis sobrinos bellos por siempre estar hay pendientes de mi, a mis tías que aunque están lejos siempre han sido un apoyo y a todos mis amigos en especial Luis García y Oscar Cabrera que me han dado una mano cuando la he necesitado y fortalezas a seguir luchando por lo que se quiere.

A mi novio, Eli Saúl Ibarra Goitia que lo amo y lo quiero muchísimo y siempre ha estado apoyándome en todo y siempre junto a mi dándome ánimos cuando lo he necesitado y mucho amor, a mis suegros Eli Saúl Ibarra y Francia Goitia, que han sido de gran apoyo durante todo este tiempo que he estado con ellos siempre dándome fortalezas e impulsándome a seguir adelante tanto profesionalmente como personalmente y mi cuñadita.

A mi amigo, compañero de tesis, que hemos compartido muchos momentos de felicidad y tristezas, rabias que aunque no tiene mucha paciencia se portó bien durante el desarrollo de este proyecto.

Yenire J. Urbano R.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por siempre ser mi apoyo primordial y brindarme las fuerzas para superar todos los obstáculos que se presentaron en toda la carrera, así, como también ofrecerme mucha salud.

A mis Padres, por estar conmigo en todo momento dándome apoyo, fuerzas y ánimo para seguir adelante en cada uno de mis pasos.

A mi segunda madre Xiomara Martínez, quien me apoyó moral y económicamente desde el principio hasta el final de mi carrera, también por ofrecerme palabras motivadoras que me dieron fuerzas para seguir adelante.

A mi amigo y hermano Edward Navas, quien me dio su apoyo en todo momento desvelándose y dando ideas para lograr un buen objetivo, también, por todos los consejos cuando las cosas no salían de la forma esperada.

A mi amigo Ing. Simón Malaver, quien fue clave para dar comienzo a mi trabajo de investigación brindándome información, experiencia y consejos que fueron fundamentales.

A mi sobrina Edxiomar Moronta, por haber estado allí en cada momento difícil y en cada una de mis carencias.

A mi compañera de tesis y amiga Yenire Urbano, quien me transmitió positivismo en todos los buenos y malos momentos y me dio ánimos ante cada obstáculo que se presentó.

A mi amigo Ing. Elisaul Ibarra, por su apoyo incondicional y por siempre estar disponible ante cualquier eventualidad que se presentó durante el desarrollo de la tesis.

Al ing. Simón Ruiz y al Técnico Edoardo Mavo, por siempre ayudarnos en la elaboración de los experimentos, facilitar instrumentos y buscar soluciones a los problemas que se presentaron.

A mi tutora Ing. Rayda Patiño Camino (M.Sc.), por haberme ofrecido la oportunidad de desarrollar el tema de tesis bajo su asesoría y por toda la ayuda brindada para el éxito de la misma.

A mi amigo y compañero Edixon Romero, con quien compartí experiencias de laboratorio y me apoyo técnicamente para ver este sueño materializado.

A mi amiga Valeria Martínez, quien me facilito información muy útil en el inicio de mi proyecto y por estar pendiente siempre del desarrollo del mismo.

José N. Chirinos A.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco mi más grande logro principalmente a dios, quien con mucha fe he puesto todo en sus manos.

Al personal de laboratorio de Refinería oriente, la Sra. Ramona y el Sr. Williams Aular que fueron muy colaboradores cada vez que los necesitamos realmente fueron de gran ayuda durante este proyecto de investigación y el Sr. Esnider.

A nuestra tutora Rayda Patiño, por haber confiado en nosotros y suministrarnos el tema la ayuda necesaria cuando la solicitábamos durante el desarrollo de nuestra tesis.

A mi amigo Simón Malvé, considerado como nuestro primer tutor clandestino de la tesis por haber sido de gran ayuda y apoyo cuando lo necesitamos y cuando no amigo gracias por todo te mereces el mundo.

Al técnico de laboratorio Simón Ruiz, por siempre estar pendiente de nosotros durante el tiempo que pasamos en el laboratorio realizando las pruebas requeridas y a la Sr. Celia.

A el ingeniero químico Eli Saúl Ibarra Marquina, que ha estado siempre pendiente y asesorando durante todo este tiempo.

A la empresa LIPESA, por habernos suministrados las químicas deshidratantes necesarias para realizar este proyecto.

Eli Saúl Ibarra Goitia, por haber sido el chofer y banco cuando lo necesitamos.

Yenire J. Urbano. R

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
AGRADECIMIENTOS	x
CONTENIDO	xii
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE TABLAS	xix
RESUMEN.....	xx
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	22
1.1. Planteamiento del Problema.....	22
1.2. Objetivos de la Investigación.....	24
1.2.1. Objetivo General.....	24
1.2.2. Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de la investigación	25
2.2. Resumen de conocimientos previos	27
2.2.1. Emulsión	27
2.2.1.1. Tipos de Emulsiones	28
2.2.1.2. Características de las Emulsiones Crudo-Agua	30
2.2.1.3. Factores que influyen en la estabilidad de las emulsiones	31
2.2.1.4. Estabilidad y ruptura de la emulsión.....	33
2.2.2. Espectrometría de infrarrojo	35
2.2.2.1. Características de un espectro	35
2.2.2.2. Tipos de espectrometría infrarrojo.....	36
2.2.3. Deshidratación de Crudos	37

2.2.3.1. Tipos de Deshidratación.....	38
2.2.4. Surfactante como demulsificantes.....	39
2.2.4.1. Tipos de surfactantes.....	40
2.2.5. Acción de la química deshidratante	41
2.2.6. Prueba de botella.....	42
2.2.7. Clasificación de los crudos por rango de grados API	44
2.2.8. Las microondas	44
2.2.9. Los hornos de microondas	45
2.2.9.1 Principio Físico De Los Hornos Microondas.....	45
2.2.9.2. ¿Cómo funcionan los hornos microondas?	46
2.2.9.3. Calentamiento por microondas	47
2.2.9.4. Generación de ondas electromagnéticas	52
2.2.9.5. Usos de las ondas electromagnéticas.....	52
2.2.9.6. Potencia de electricidad de un horno microondas.....	53
CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1. Caracterizar físicamente las muestras de crudo mediano que se someterán al proceso de deshidratación.	55
3.1.1. Determinación del porcentaje de Agua y Sedimentos (%AyS)	56
3.1.2. Determinación de la gravedad API	56
3.1.3. Medición de la Densidad.....	58
3.1.4. Destilación	58
3.2. Diferenciar mediante espectrometría de infrarrojo la naturaleza de los demulsificantes que se usaran para la deshidratación del crudo	60
3.3. Determinación de la estabilidad de las emulsiones.....	62
3.3.1. Estudiar la eficiencia de los demulsificantes a ser utilizados para la deshidratación del crudo mediante la prueba de botella.	64
3.4. Experimentar la deshidratación de crudo mediante la asistencia de ondas electromagnéticas (Microondas)	65

3.5. Evaluar la eficacia de la deshidratación asistida con microondas en referencia al método tradicional Prueba de Botella	68
3.6. Materiales, equipos, sustancias y herramientas.....	69
3.7. Especificaciones del Equipo Microondas	71
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. Caracterizar físicamente las muestras de crudo mediano que se someterán al proceso de deshidratación	73
4.2. Diferenciar mediante espectrometría de infrarrojo la naturaleza de los demulsificantes que se usarán para la deshidratación del crudo.....	74
4.3. Estudiar la eficiencia de los demulsificantes a ser utilizados para la deshidratación del crudo mediante la prueba de botella.	75
4.3.1. Estudio de la Muestra 1	76
4.3.2. Estudio de la Muestra 2.....	79
4.3.3. Estudio de la Muestra 3.....	82
4.4. Experimentar la deshidratación de crudo mediante la asistencia de ondas electromagnéticas (Microondas).....	85
4.4.1. Estudio de la muestra 1	85
4.4.1.1. Análisis de resultados para el crudo 1 emulsionado al 5% de agua... 85	
4.4.1.2. Análisis de resultados para el crudo 1 emulsionado al 10% de agua. 88	
4.4.2. Estudio de la muestra 2	91
4.4.2.1. Análisis de resultados para el crudo 2 emulsionado al 5% de agua... 91	
4.4.2.2. Análisis de resultados para el crudo 2 emulsionado al 10% de agua. 93	
4.4.3. Estudio de la muestra 3	95
4.4.3.1. Análisis de resultados para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua... 95	
4.4.3.2. Análisis de resultados para el crudo 3 emulsionado al 10% de agua. 97	
4.5. Evaluar la eficacia de la deshidratación asistida con microondas en referencia al método tradicional (Prueba de Botella).....	99
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES.....	105

BIBLIOGRAFÍA	106
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Fases de una emulsión [5]	28
Figura 2.2. Tipos de emulsiones ^[4]	30
Figura 2.3 Representación gráfica de la estabilización de una gota de agua por agentes emulsionantes presentes en el petróleo crudo. ^[7]	31
Figura 2.4 Mecanismo de Rompimiento de una Emulsión ^[8]	34
Figura 2.5. Foto de un espectrómetro de infrarrojo. ^[10]	36
Figura 2.6 Dispersión de las ondas eletromagnéticas en La superficie de los alimentos ^[18]	47
Figura 2.7. Cuerpo neutro con cargas neutras. ^[18]	47
Figura 2 .8 Moléculas de un cuerpo, cuando son sometidas a un campo eléctrico. ^[18]	48
Figura 2.9. Las moléculas se orientan de acuerdo a la dirección del campo ^[18]	48
Figura 2.10. Cocción por microonda. ^[18]	49
Figura 2 .11 Distribución de ondas en un horno de microondas ^[18]	50
Figura 2.12. Comportamiento de las microondas ^[18]	50
Figura 3.1. Procedimiento para determinar el porcentaje de agua y sedimentos. Método ASTM D 96	56
Figura 3.2. Medición de la gravedad API. Método ASTM D 287	57
Figura 3.3. Equipos utilizados para medir las densidades de los crudos	58
Figura 3.4. Equipo de destilación atmosférica. Método ASTM D-86.	59
Figura 3.5. Espectrómetro infrarrojo (THERMO SCIENTIFIC).....	62
Figura 3.6. Equipo para la realización de las pruebas de coalescencia.....	64
Figura 3.7. Procedimiento para la realización de la Prueba de la Botella ^[14]	65
Figura 3.8. Muestra de crudo siendo sometida a radiación electromagnética	66
Figura 3. 9. Muestra de crudo tomando la temperatura después de ser sometida a exposición electromagnética	67

Figura 3.10. Muestras de crudos llevadas a centrifugación después del calentamiento mediante ondas electromagnéticas	68
Figura 4.1 Espectrometría infrarrojo de cada demulsificante.	75
Figura 4.2. Factores considerados para evaluar la calidad del agua coalescida.....	76
Figura 4.3. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 1 con 5 % de fase dispersa	77
Figura 4.4. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 1 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml	78
Figura 4.5. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 1 con 10% de fase dispersa	78
Figura 4.6. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 1 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml	79
Figura 4.7. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 2 con 5% de fase dispersa	80
Figura 4.8. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 2 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml	80
Figura 4.9. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 2 con 10 % de fase dispersa.	81
Figura 4.10. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 2 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de (1ml.).....	82
Figura 4.11. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 3 con 5 % de fase dispersa	82
Figura 4.12. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 3 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml	83
Figura 4.13. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 3 con 10 % de fase dispersa	84
Figura 4.14. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 3 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml	84

Figura 4.15. Muestras del crudo 1 emulsionado al 5%, después de ser sometidas al proceso de deshidratación asistida con microondas.....	87
Figura 4.16. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 1 al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas	87
Figura 4.17. Agua liberada en cada nivel de potencia para el crudo 1 al 5%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	88
Figura 4.18. Lectura de la cantidad de agua separada, de la muestra de crudo 1 al 10%, después de ser sometida al proceso de deshidratación	89
Figura 4.19. Agua liberada en cada nivel de potencia para el crudo 1 emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas	90
Figura 4.20. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 1al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	91
Figura 4.21. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 emulsionado al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas.....	92
Figura 4.22. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 al 5%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	93
Figura 4.23. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas.....	94
Figura 4.24. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	95
Figura 4.25. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3emulsionado al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas	96
Figura 4.26. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	97
Figura 4.27. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas	98
Figura 4.28. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.....	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de los crudos según el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. [16]	44
Tabla 3.1. Métodos ASTM para determinar propiedades fisicoquímicas de los fluidos.....	55
Tabla 3.3. Clasificación de los crudos de acuerdo a su gravedad API.....	57
Tabla 4.1. Resultados obtenidos de la caracterización Fisicoquímica de los crudos analizados.....	73
Tabla 4.2. Resultados de prueba de radiación electromagnética para el crudo 1 emulsionado al 5% de agua.....	86
Tabla 4.3. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 1 emulsionado al 10% de agua.....	89
Tabla 4.4. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 2 emulsionado al 5% de agua.....	91
Tabla 4.4. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 2 emulsionado al 10% de agua.....	93
Tabla 4.5. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua.....	96
Tabla 4.7. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua.....	97
Tabla 4.7. Comparación de la deshidratación asistida por microondas con el método de la prueba de botella.....	101

RESUMEN

La Evaluación del método para deshidratar hidrocarburos asistida por ondas electromagnéticas en muestras de crudos medianos, permitió a través de ensayos experimentales realizados en laboratorio, estudiar la eficiencia de deshidratación en muestras de crudos medianos, a través de la comparación del método convencional prueba de botella. Para el desarrollo de la investigación se dispuso de tres muestras de crudos a las cuales se procedió a analizar mediante las normas ASTM para la caracterización de fluidos, después de esto se procedió a emulsionar las muestras al 5 y 10% de fase dispersa a los cuales se les realizó la prueba de coalescencia finita (medición de estabilidad de la emulsión). Una vez comprobada la estabilidad de las emulsiones se realizaron una serie de pruebas repetitivas de ensayo y error, disponiendo cantidades de crudo emulsionado combinado con desmulsificante a concentración de 0,01, 0,1 y 1 ml de las cuales se seleccionó 1ml, que luego fueron llevadas a calentamiento inducido a través de un equipo transmisor de microondas, al realizar estas numerosas pruebas se prosiguió a efectuar análisis comparativos con respecto a los resultados arrojados mediante la prueba de la botella y los obtenidos a través de la implementación de este método. Lográndose así deshidratar crudo utilizando la asistencia de un equipo microondas, donde notablemente se obtuvieron resultados favorables donde se evidencio mayor eficiencia y eficacia en comparación con la prueba de botella. Donde la muestra 1 al 5% separó 80% de agua por método botella en 260 minutos y usando el método del microonda se obtuvo 100% de volumen de agua coalescido en un tiempo de 2.5 minutos representando una eficacia de 104 veces mayor que la prueba de botella, en el caso de 10% de agua emulsionada coalescio 100% de agua en 250 minutos por método de botella y 2.2 minutos aplicando ondas electromagnéticas obteniendo una eficacia de 114 veces mayor que la prueba de botella. Para la muestra 2 al 5% se logró un porcentaje de separación de 100% en 140 minutos por prueba de botella y 2.83 minutos por microondas con una

eficacia 49 veces mayor que el método evaluado anteriormente, para el 10% solo se separó 50% en 240 minutos usando prueba de botella y 100% en 2.83 minutos empleando microondas logrando una eficacia de 85 veces mayor que la prueba de botella. La muestra 3 al 5 y 10% se separó 100% de agua emulsionada en tiempo de 90 y 80 minutos respectivamente para prueba de botella y 2.5 para microondas para ambas emulsiones, mejorando la eficacia en la deshidratación con ondas electromagnéticas 40 veces más que la prueba de botella. Evidenciándose una reducción del tiempo de deshidratación del crudo empleando las ondas electromagnéticas, generando así que técnicamente esta tecnología puede ser empleada a nivel de campo, lo que representaría un ahorro notable en tiempo y así poder manejar mayores volúmenes de crudo.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Las aguas fluviales pueden ser definidas como el agua contenida en el hidrocarburo obtenida durante la producción del mismo. Como es de saberse los yacimientos petrolíferos se caracterizan por la presencia de petróleo, gas y agua. Una vez que se tiene la mezcla de hidrocarburos en superficie esta se somete a procesos de separación y posteriormente almacenados en su tanque correspondiente.

La mayoría de los yacimientos produce un porcentaje de agua que en un inicio suelen ser pequeñas, al menos que sea un yacimiento con presencia de acuíferos u otras condiciones geológicas que lo asocien directamente a reservas de agua significativas,. Las cantidades en un reservorio estándar deben ser mínimas para cumplir así con los límites de transporte o refinería.

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 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).

Actualmente, el 90 % de las técnicas utilizadas para la extracción de petróleo crudo generan o agravan los problemas de emulsión. Los químicos usados en las fracturas de la formación, estimulaciones de pozos, inhibición de corrosión, etc., frecuentemente causan problemas de emulsión muy severos, por lo que existen también métodos para romperlas.

Los problemas de desemulsificación de crudos son cada vez más difíciles de resolver, ya que el aceite producido bajo los modernos métodos de recuperación adquiere un grado mayor de emulsificación. Los métodos de tratamiento de las emulsiones han evolucionado notablemente, desde el simple reposo en vasijas convencionales hasta la aplicación de voltajes eléctricos elevados, pasando por los diferentes métodos mecánicos, térmicos y químicos.

El conocimiento de la naturaleza de las emulsiones de agua y aceite han influido en el establecimiento de la tecnología básica para su tratamiento, los enfoques empíricos para el desarrollo de procesos y productos, en estudios de laboratorio, plantas piloto e instalaciones de campo siguen siendo factores decisivos.

La deshidratación es un proceso necesario, para comercializar crudos con altos contenidos de agua y fuera de las exigencias para el mercadeo. El principio básico de la deshidratación se fundamenta precisamente en las rupturas de las emulsiones mediante la combinación de los métodos que contribuyan a la misma, en este caso se efectuara tratamiento químico, térmico y mecánico. Dichos procesos por lo general se llevan un tiempo base generalmente alto, estos procedimientos permiten mediante la acción de la química, agitación y transferencia de calor, la liberación del agua emulsionada con el crudo.

En la búsqueda de mejorar el tiempo de la ruptura de la emulsión se experimentara la inducción de temperatura a muestras de crudo mediano emulsionado mediante la aplicación de ondas electromagnéticas (Microondas). Con la finalidad de obtener la deshidratación del crudo con mejor calidad, en menor tiempo y experimentar si el método es aplicable a grandes volúmenes del mismo.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el método para la deshidratación de hidrocarburos asistida por ondas electromagnéticas en muestra de crudo mediano.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar físicamente las muestras de crudos medianos que se someterán al proceso de deshidratación.
2. Diferenciar mediante espectrometría de infrarrojo la naturaleza de los demulsificantes que se usaran para la deshidratación del crudo.
3. Estudiar la eficiencia de los demulsificantes a ser utilizados para la deshidratación del crudo mediante la prueba de botella.
4. Experimentar la deshidratación de crudo mediante la asistencia de ondas electromagnéticas (Microondas).
5. Evaluar la eficacia de la deshidratación asistida con microondas en referencia al método tradicional (Prueba de Botella).

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

- **Malaver**, estudió el comportamiento de demulsificantes comerciales en crudos de distintos grados API, que se realizó como respuesta a la necesidad de demulsificación del agua asociada producida con el crudo, que lo colocan fuera de especificaciones de mercado. Dicho estudio se inició caracterizando el fluido según normas ASTM, luego se empleó la prueba de ensayo y error prueba de botella basada en la observación directa de las cantidades de agua que coalescían, con determinada concentración de demulsificante, estableciéndose así criterios de selección del demulsificante más eficiente. Se obtuvo que las muestras con 5% de fase dispersa, representaron mayor dificultad para coalescer el agua; de los demulsificantes empleados el demulsificante comercial C presentó mejores resultados en las muestras 1, 2 y 3 logrando coalescer en el caso de la muestra 1 al 5% 100% del agua en emulsión al igual que en la muestra 2 con 5% de fase dispersa, coalesciendo el 76% de agua y en la muestra 3 con 10% de fase dispersa separando el 100% del agua emulsionada se evidenció que no siempre en la concentración donde el demulsificante propinara la mayor coalescencia de agua, estaría el punto de mayor inestabilidad, así mismo ninguno de los 3 demulsificantes evaluados, representó una respuesta satisfactoria de coalescencia en el crudo pesado. ^[1]

- **Villarroel**, se realizó una evaluación al Sistema de Deshidratación de Crudo de la Estación de Flujo Muri, perteneciente a la U.P Carito. Esto con la finalidad de verificar las posibles fallas en el funcionamiento u operabilidad de los equipos; permitiendo de esta manera cumplir con las demandas de

crudo bajo las especificaciones comerciales establecidas para la venta. En él se analizaron los principales factores que afectan el proceso de deshidratación, se determinó la eficiencia del producto químico desmulsificante utilizado en la Estación (L-1001-R) suministrado por la empresa LIPESA, se estudiaron los parámetros operacionales que rigen el funcionamiento actual de los Deshidratadores Electrostáticos y del Tanque de Asentamiento Dinámico TK-1003 y se compararon con los establecidos en el diseño de los equipos, así mismo se realizó la simulación hidráulica del sistema a las condiciones operacionales actuales y asumiendo que la Estación opera a las condiciones de diseño y capacidad nominal de los Deshidratadores Electrostáticos (90 MBPD) El análisis de los datos permitieron concluir que la presencia de emulsiones y la baja temperatura del crudo afectan el proceso de deshidratación de Crudo, se observó una disminución del 43,97 % en el porcentaje de emulsión a la entrada del Tanque de Crudo Sucio TK-10003 al distanciar el punto de inyección de química Desmulsificante de la Estación (2 Km. aprox.), el Tanque de Asentamiento Dinámico se encuentra operando en óptimas condiciones con una eficiencia del 80 % el cual es mayor que la teórica (70 %), los Deshidratadores Electrostáticos se encuentran operando a condiciones por debajo de las condiciones normales lo que hace que su eficiencia (79,37 %) sea inferior a la del diseño (95 %) haciéndolo poco eficiente.^[2]

- **González y Salazar,** se enfocaron en el estudio de la factibilidad técnica para deshidratar crudo pesado por calentamiento generado con un equipo transmisor de ondas electromagnéticas, el cual permitió a través de ensayos experimentales realizados en laboratorio probar cuán posible es adaptar el método tradicional de la prueba de la botella para deshidratar crudos, se construyeron una serie de diagramas organizacionales que fueron necesarios para agilizar y ordenar los pasos a seguir para el desarrollo exitoso de esta

investigación, dando avances a la fase experimental partiendo desde la creación de emulsiones agua en petróleo y realizando posteriores análisis de deshidratación tradicional, base primordial en este estudio. En base a esto se procedió a realizar una serie de pruebas repetitivas de ensayo y error, disponiendo cantidades de crudo emulsionado combinado con desmulsificante que luego fueron llevadas a calentamiento inducido a través de un equipo transmisor de microondas, al realizar estas múltiples pruebas se prosiguió a efectuar análisis comparativos con respecto a los resultados arrojados mediante la prueba de la botella y los obtenidos a través de la implementación de este método. Lográndose así deshidratar crudo utilizando la asistencia de un equipo microondas, donde notablemente la eficiencia y eficacia del mismo es mayor, reduciendo el tiempo de deshidratación del crudo realizado mediante la prueba de la botella, generando así que técnicamente esta tecnología puede ser empleada a nivel de campo, lo que representaría un ahorro notable en tiempo y así manejar mayores volúmenes de crudo.^[3]

2.2. Resumen de conocimientos previos

2.2.1. Emulsión

Se puede definir la emulsión, como un sistema termodinámicamente inestable constituido por una suspensión de partículas líquidas en el seno de otra fase líquida no miscible, como se muestra en la figura 2.1. Las partículas de líquido dividido constituyen la fase dispersa o interna de la emulsión; el líquido en el seno del cual las gotas están dispersas, representan la fase continua o externa (fase dispersante). Una de las fases de la emulsión está constituida por una fase acuosa, que puede contener un cierto número de sustancias hidrófilas (alcoholes, glicoles, azúcares, sales minerales y orgánicas, etc.) y la otra por una fase oleosa que puede contener

substancias lipófilas (ácidos grasos, alcoholes grasos, ceras, principios activos liposolubles).^[4]

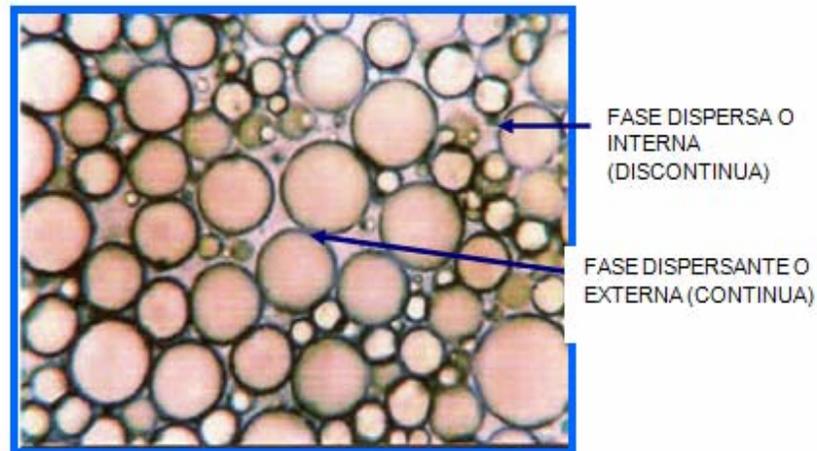


Figura 2.1. Fases de una emulsión [5]

2.2.1.1. Tipos de Emulsiones

Existen dos formas de clasificar las emulsiones: de acuerdo al tamaño de las gotas dispersas y de acuerdo a la naturaleza de la fase dispersa.^[6]

➤ Emulsiones Según el Tamaño de la Partícula Dispersa

Basados en el tamaño de las partículas dispersas se consideran dos tipos de emulsiones: las microemulsiones y las macroemulsiones. En las microemulsiones, el tamaño de las partículas oscila entre 0,01 μm (micrómetros) a 0,2 μm (micrómetros).

Para las macroemulsiones se tiene un rango de 0,2 a 50 Mm (Megámetros), siendo fácilmente visibles a través del microscopio.^[6]

➤ **Emulsiones Según la Naturaleza de la Fase Dispersa**

Para las emulsiones de petróleo y agua se pueden encontrar las siguientes: petróleo en agua (O/W) donde la fase continúa es el agua o bien, agua en petróleo (W/O) donde la fase continua es el petróleo como se observa en la figura 2.2. ^[6]

- **Agua en Petróleo:** Comprende aproximadamente el 99 % de las emulsiones presentes en la industria petrolera. El contenido de agua puede variar entre 0 y 80%.^[6]

- **Petróleo en Agua:** Este tipo de emulsión consiste en glóbulos de petróleo dispersos en una fase continua de agua. Este tipo ocurre en aproximadamente el 1 % de las emulsiones producidas en la industria petrolera.^[6]

- **Petróleo en Agua en Petróleo:** Este tipo de emulsión pocas veces es encontrada en la producción de petróleo. En las áreas donde se encuentra este tipo de emulsión es de alta viscosidad y gravedad específica o el agua es relativamente blanda y fresca. La forma de este tipo de emulsión es hasta cierto sentido muy compleja. Los glóbulos de petróleo están dispersos en una fase continua de petróleo.^[6]

- **Agua en Petróleo en Agua:** Este tipo de emulsión no ha sido encontrada aún en la producción de petróleo, aunque experimentalmente puede prepararse. En estructura es exactamente al reverso del tipo petróleo-agua-petróleo. Este tipo de emulsión se trata de la misma manera que la emulsión de agua en petróleo, pero los residuos de agua que se asientan pueden contener la mayor parte del contenido original del petróleo en gotas. Por lo tanto, es necesario un tratamiento posterior como si fuera una emulsión de petróleo en agua.^[6]

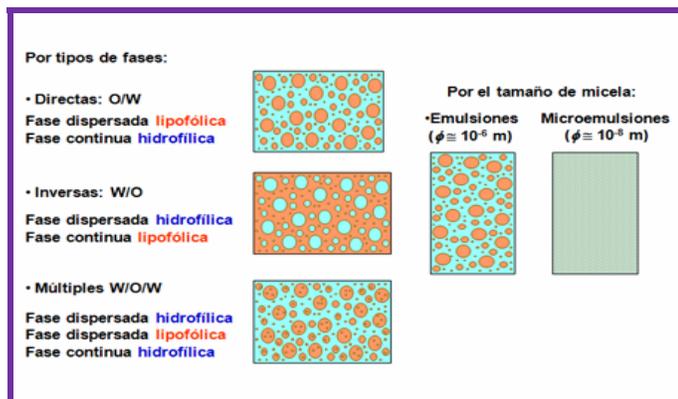


Figura 2.2. Tipos de emulsiones^[4]

2.2.1.2. Características de las Emulsiones Crudo-Agua

Uno de los líquidos rodea al otro en forma de gotas de diámetros relativamente pequeños. El agua no se mezcla de manera espontánea con crudos. Por lo tanto, para formar emulsiones estables crudo-agua o bitumen-agua se requieren dos factores adicionales; los agentes emulsificantes y energía (generalmente un medio que provea suficiente grado de agitación).

Los agentes emulsificantes más conocidos en las emulsiones crudo-agua son: asfalto, sustancias resinosas, ácidos orgánicos solubles en crudo extrapesado o bitumen. También pueden existir sólidos apreciablemente divididos tales como: hierro, zinc, sulfato de aluminio, carbonato de calcio, sílice y sulfuro de hierro. Estas sustancias se han encontrado en la interface de las emulsiones crudo- agua y generalmente se producen de los mismos yacimientos de crudos. Por esta razón, para deshidratar los crudos se hace necesario romper estas emulsiones. De esta manera se puede lograr la coalescencia de las gotas de agua. Estas gotas de mayor tamaño pueden ser separadas de las emulsiones.

Las emulsiones que se producen en un pozo productor de crudos son del tipo: agua en crudo. Su formación crea serios problemas para la producción o el transporte de este tipo crudo. En la deshidratación de los crudos es deseable remover el agua lo más cerca posible del pozo productor. Con ello se logra aumentar la capacidad de transporte del crudo. Sin embargo, los crudos emulsionados son difíciles de transportar dadas sus características. [6]

2.2.1.3. Factores que influyen en la estabilidad de las emulsiones

Existen varios factores que contribuyen a mantener la estabilidad de las emulsiones, figura 2.3.

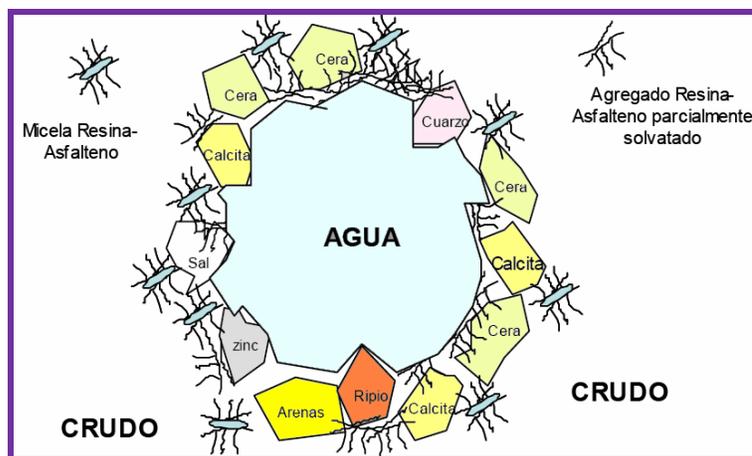


Figura 2.3 Representación gráfica de la estabilización de una gota de agua por agentes emulsionantes presentes en el petróleo crudo. [7]

- **Viscosidad de petróleo:** se define por viscosidad de un líquido la resistencia que presenta cuando fluye a través de un ducto. Mientras mayor sea la resistencia que presenta cuando fluye a través de un ducto, mayor será su viscosidad. Un petróleo con una viscosidad alta, es decir, que fluye lentamente, mantendrá en suspensión gotas mucho más grandes que otro de viscosidad baja. Por mantener gotas más grandes y por ser más lenta la velocidad con que se precipitan, un petróleo de viscosidad alta requiere más

tiempo para que las gotas de agua puedan unirse y romper la emulsión. Por lo tanto, entre más alta sea la viscosidad más grande será la emulsión.^[7]

- **Temperatura:** la estabilidad de una emulsión depende de la temperatura, ya que ésta controla la viscosidad hasta cierta extensión. Por lo tanto, una emulsión será más estable a menor temperatura, ya que así la viscosidad aumenta y con ella la resistencia al movimiento de las gotas. Es por ello que se aplica calor a los sistemas de tratamiento.^[7]

- **Contenido de agua:** el contenido de agua de una emulsión tiene un efecto indirecto en su estabilidad, para una cantidad dada de petróleo y agua. Una emulsión estable puede formarse para, una gran cantidad de volumen de mezcla, pero la emulsión de máxima estabilidad ocurrirá a una relación dada de Agua-Petróleo, dependiendo del tipo de crudo. En operaciones comunes, se nota que el crudo alcanza su máxima estabilidad para un contenido de agua en el orden del 1%, aunque se encuentran algunas muy estables en las que el contenido de agua es de hasta 75 %.^[7]

- **Edad de una emulsión:** si un crudo emulsionado se almacena y no se trata, una cierta cantidad de agua precipitará por gravedad y otra parte se mantendrá emulsionada. A menos que se emplee alguna forma de tratamiento para completar la ruptura total, habrá un porcentaje pequeño de agua en el petróleo, aunque se prolongue el tiempo de sedimentación. Este pequeño porcentaje de agua tiende a estabilizar la emulsión. Esto explica el por qué algunas emulsiones se hacen más estables y difíciles de tratar después que han envejecido.^[7]

- **Residuos de carbón:** el efecto de éstos es comparable al de la viscosidad de petróleo; es decir, entre mayor sea el contenido de residuo de carbón presente en el petróleo, mayor será la estabilidad de la emulsión y viceversa.^[7]

- **Cargas Eléctricas:** la estabilidad de la emulsión se incrementará cuando las cargas eléctricas de las partículas aumenten. Las cargas superficiales de

repulsión originadas por la adsorción de material activo de superficie iónica o por acción mecánica pueden impedir aglomeración y coalescencia.^[7]

- **Exposición al aire:** se comprueba que las emulsiones se hacen más estables cuando están expuestas al aire. Esto se debe a que el oxígeno reacciona con los componentes del crudo para formar un agente emulsificante. Esta acción ocurre muy rápidamente y bastan unos pocos segundos de exposición al aire para estabilizar la emulsión.^[7]

- **Tamaño de las gotas:** el tamaño de las gotas en una emulsión afecta la velocidad de coalescencia de las gotas dispersas. Una emulsión cuyas gotas tienen una distribución regular y un diámetro promedio igual, son más estables que aquellas que poseen una distribución de tamaño muy irregular.

Cuando las gotas de las fases dispersas se acercan a un tamaño de 10 micrones (0.01 mm) en diámetro, la emulsión se hace más estable.^[7]

2.2.1.4. Estabilidad y ruptura de la emulsión

Las emulsiones poseen energía interfacial, por esto, son termodinámicamente inestables. Las emulsiones pueden ser rotas por tres mecanismos que son: Sedimentación, agregación y coalescencia. La sedimentación se refiere a la caída de las gotas de agua en el aceite crudo, la floculación de dos o más gotas es llamada agregación y por último la coalescencia que ocurre cuando las gotas originales pierden sus identidades y se funden en gotas más grandes reduciendo el área de interfase total. El rompimiento de la emulsión depende de los siguientes parámetros: Película interfacial, viscosidad de la fase continua, tamaño de la gota, relación de volumen de fases, temperatura, pH, edad, salinidad de la salmuera y tipo de aceite.^[8] como se observa en la figura 2.4.

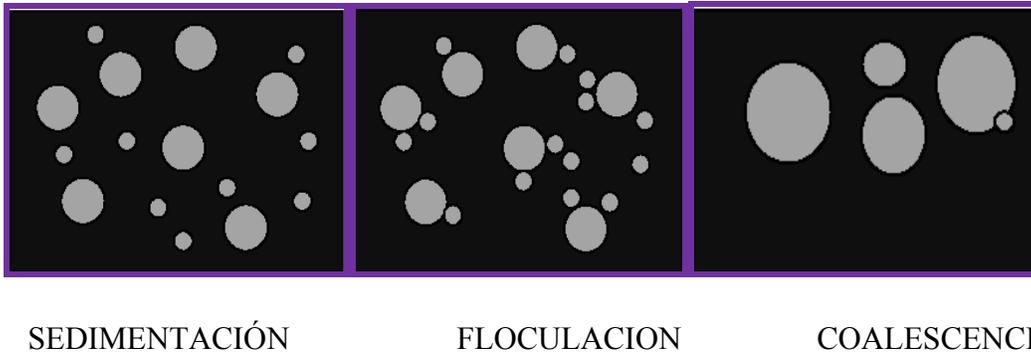


Figura 2.4 Mecanismo de Rompimiento de una Emulsión^[8]

Se entiende entonces por floculación, la aglomeración de gotas agregados irregulares en los cuales se puede siempre reconocer las gotas individuales, la floculación no es un fenómeno reversible, las gotas pueden volverse independientes de nuevo si se somete al floculado a una leve agitación, mucho menor que la requerida para formar una emulsión. La floculación permite que se formen agregados de tamaño mucho mayor a los de las gotas y que por lo tanto puedan sedimentarse más rápidamente. Por otra parte las gotas floculadas están en contacto (aun lejano) y pueden eventualmente coalescer si las circunstancias son favorables. Las fuerzas responsables por la floculación son las fuerzas de Van der Waals entre las moléculas absorbidas del emulsionante y el agente floculante.

La última etapa de la coalescencia requiere del drenaje lateral de la película de fase continua hasta que sea suficientemente delgada para romperse bajo el efecto de las perturbaciones. Después de romperse la película, se efectúa la coalescencia propiamente dicha, es decir, la transferencia de masa total de la gota hacia otro lado de la interfase. En el proceso de coalescencia, el proceso lento es el drenaje de la película que culmina por la ruptura.

Se entiende entonces por coalescencia, la unión de varias gotas para formar otras más grandes, lo que finalmente conduce a la separación de fases. Para que se produzca la coalescencia es necesario que la película líquida interfacial que rodea las gotas así como la monocapa de surfactante absorbida en la superficie de las mismas sufra un completo deterioro, este es un proceso irreversible y difícil de explicar teóricamente.^[9]

2.2.2. Espectrometría de infrarrojo

Es una técnica analítica instrumental que permite conocer los principales grupos funcionales de la estructura molecular de un compuesto. Esta información se obtiene a partir del espectro de absorción de dicho compuesto al haberlo sometido a la acción de la radiación infrarroja en el espectrofotómetro.

La espectroscopia NIR está prácticamente orientada a la determinación y cuantificación de compuestos orgánicos, los cuales se caracterizan por la presencia de grupos funcionales como $-OH$, $-NH$, $-CO$ y $-CH$ en las muestras que se analizan. En la espectroscopia de reflectancia cercana (NIR) la línea de base del espectro asciende con el incremento de la longitud de onda. Por tanto, a medida que el tamaño del particulado de muestras sólidas aumenta, la penetración del rayo infrarrojo es mayor que en materiales finos, lo cual causa problemas en la línea de base; por lo general el efecto podría ser cancelado mediante el empleo de derivadas (primera y segunda) del espectro básico, conversiones matemáticas que son posibles mediante el software que está incorporado en el programa de manejo de los equipos actuales.^[10]

2.2.2.1. Características de un espectro

El espectro de infrarrojo de un compuesto es una representación gráfica de los valores de onda (μ) o de frecuencia (cm^{-1}) ante los valores de % de transmitancia

(%T). La absorción de radiación IR por un compuesto a una longitud de onda dada, origina un descenso en el %T, lo que se pone de manifiesto en el espectro en forma de un pico o banda de absorción. Como se muestra en la figura 2.5. ^[10]

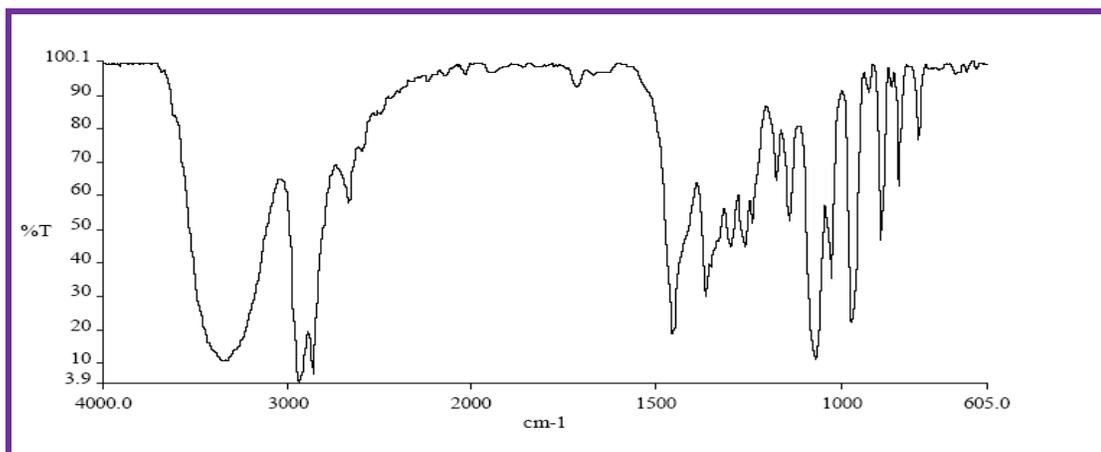


Figura 2.5. Foto de un espectrómetro de infrarrojo. ^[10]

2.2.2.2. Tipos de espectrometría infrarrojo

➤ El espectro de infrarrojo de lejano

La región del infrarrojo lejano es especialmente útil en los estudios inorgánicos ya que la absorción causada por las vibraciones de extensión y flexión de los enlaces entre átomos metálicos y ligandos inorgánicos u orgánicos, se produce por lo general a frecuencias menores de 600 cm^{-1} ($>17\mu\text{m}$). Los estudios en el infrarrojo lejano de sólidos inorgánicos han proporcionado también información útil acerca de las energías de los retículos cristalinos y la energía de transición de los materiales semiconductores.

Las primeras aplicaciones químicas de esta técnica consistieron en estudios de absorción en el intervalo entre 400 y 10 cm^{-1} (25 y $1000\mu\text{m}$). La ventaja energética

del sistema interferométrico sobre el dispersivo da lugar por lo general a una significativa mejora en la calidad de los espectros.^[10]

➤ **El espectro de infrarrojo de mediano**

La aplicación de la espectroscopia basada en la transformada por Fourier al intervalo entre 650 y 4000 cm^{-1} se ha limitado principalmente a problemas particulares en los que existe algún tipo de limitación energética. Por ejemplo, ha resultado útil para el estudio de micromuestras cuando la absorción se reduce a una región muy limitada; de esta forma se puede obtener el espectro para partículas tan pequeñas como de 100 μm .^[10]

➤ **El espectro de infrarrojo de cercano**

Se caracteriza por presentar bandas o absorciones en la región de 400 nm a 2500 nm (2500 cm^{-1} a 400 cm^{-1}), las cuales son el resultado de armónicos o combinación de bandas originadas en la región del infrarrojo medio. Los espectros infrarrojos están constituidos por la representación gráfica de la energía absorbida en función de la longitud de onda.^[10]

2.2.3. 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 petróleo, la cual se llama emulsión agua/petróleo (W/O).^[11]

Los requerimientos esenciales de un proceso de deshidratación son los siguientes: destruir o neutralizar la acción del agente emulsificante, promover la coalescencia de pequeñas gotas de agua o de crudo y formar gotas más grandes por agitación mecánica o acción gravitacional, acelerar el proceso de separación del crudo y del agua por reducción de la viscosidad de la fase continua, conceder suficiente tiempo para la separación agua-petróleo y remover el agua en el equipo decantador donde se completa el proceso de deshidratación.^[12]

2.2.3.1. Tipos de Deshidratación

Es posible aplicar uno o varios métodos de deshidratación. En general, se usa una combinación de estos para lograr la separación efectiva de la emulsión:

2.2.3.1.1. Tratamiento químico

Consiste en aplicar un producto demulsificante conocido como “química deshidratante”, el cual debe ser inyectado tan pronto como sea posible, permitiendo más tiempo de contacto y previniendo la formación de emulsión corriente abajo del proceso.^[12]

2.2.3.1.2. Selección del producto químico

La selección de productos químicos se obtiene a través de pruebas de botellas. Se denominan así debido al tipo de recipiente que se usan en estas pruebas, estas botellas son de 100 cc y vienen graduadas para facilitar su lectura. Para su ejecución se toma una muestra representativa del petróleo crudo, y se agregan en varias botellas

en las que se agregarán diversos químicos en diferentes cantidades a varias temperaturas para determinar cuál es la química que mejor rompe la emulsión. Después que las pruebas de botellas son realizadas y las mejores dos o tres químicas han sido seleccionadas se evalúan en el sistema de tratamiento a varias concentraciones, temperaturas de operación, tiempo de reposo, etc. La química elegida será la que provea la mejor separación de la emulsión, agua decantada más limpia, a más baja temperatura, menor tiempo de residencia y más bajo costo por barril tratado.^[12]

2.2.4. Surfactante como demulsificantes

Los ingleses utilizan la palabra "surfactante" (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba. La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensoactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs. Este término es equivalente a surfactante solo si se supone que la actividad superficial o interfacial se traduce necesariamente por un descenso de la tensión, lo cual es verdad en la mayor parte de los casos que tienen un interés práctico. Usaremos el neologismo "surfactante"

En general, el término tensoactivo se refiere a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos tiene muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel.^[13]

2.2.4.1. Tipos de surfactantes

➤ **Surfactantes Aniónicos:** se disocian en un anión anfífilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario. A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo. ^[14]

➤ **Surfactantes Noiónicos:** están en el segundo rango por orden de importancia con un poco menos del 40% del total. En solución acuosa no se ionizan, puesto que ellos poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter o amida. Una alta proporción de estos surfactantes pueden tornarse relativamente hidrofílicos gracias a la presencia de una cadena poliéter del tipo polióxido de etileno. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad. ^[14]

➤ **Surfactantes Catiónicos:** se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. La fabricación de estos surfactantes es mucho más cara que la de los anteriores y es por esta razón que no se les utilizan salvo en caso de aplicación particular, como cuando se hace uso de sus propiedades bactericidas o de su facilidad de adsorción sobre sustratos biológicos o inertes que poseen una carga negativa. ^[14]

Esta última propiedad hace que sean excelentes agentes antiestáticos, hidrofobantes, así como inhibidores de corrosión, y puedan ser utilizados tanto en productos industriales como para uso doméstico. ^[14]

2.2.5. Acción de la química deshidratante

Diferentes estudios han demostrado que el mecanismo físico-químico de acción de los agentes deshidratantes o desemulsionante está asociado a la formulación óptima del sistema ($SAD = 0$, siendo SAD la Diferencia de Afinidad del Surfactante).

La formulación óptima se define básicamente como un estado de equilibrio entre las afinidades del surfactante para la fase acuosa y para la fase oleica. Se han determinado cuantitativamente los efectos de las diferentes variables de formulación (salinidad, ACN, EON, WOR, temperatura, entre otras) sobre el equilibrio hidrofílico/lipofílico entre el surfactante y su ambiente físico-químico.

En un sistema surfactante-agua-petróleo, la formulación óptima se logra cuando en un barrido unidimensional de cualquier variable de formulación, el sistema presenta una tensión interfacial mínima o ultra-baja, acompañada en general de la aparición de un sistema trifásico en el cual la mayor parte del surfactante está en la fase media. Para el caso de emulsiones agua en crudo es poco corriente poder observar tal sistema trifásico y la inestabilidad se detecta por el progreso de la coalescencia y la evolución de la tensión interfacial dinámica.

Para conseguir esta condición en una emulsión W/O que ya contiene un surfactante lipofílico (modelo de los surfactantes naturales en el crudo), se debe añadir un surfactante hidrofílico de peso molecular promedio o bajo (modelo agente deshidratante) de manera que el parámetro característico de la mezcla produzca una emulsión inestable. La formulación óptima es independiente de la concentración de surfactante y de la cantidad de la fase media, el surfactante es atrapado en una micro-emulsión.

Por lo general, los desemulsionantes comerciales son mezclas de varios componentes que tienen estructuras químicas diferentes y materiales poliméricos, así como una amplia distribución de peso molecular. Están conformados por un 30 a 50% de materia activa (surfactantes) más la adición de solventes adecuados, tales como nafta aromática y alcoholes.

Entre los más utilizados están los copolímeros bloques de óxido de etileno y de óxido de propileno, las resinas alquil-fenol formaldehídas, las poliaminas, alcoholes grasos, aminas oxialquiladas y poliesteramianas y sus mezclas. Estos surfactantes tienen tres efectos fundamentales una vez adsorbidos en la interfase agua-petróleo: uno es la inhibición de la formación de una película rígida, otro el debilitamiento de la película volviéndola compresible y el más importante, el cambio en la formulación del sistema para alcanzar la condición de $SAD = 0$.^[15]

2.2.6. Prueba de botella

Los demulsificantes deben ser dosificados en forma continua en la relación determinada por pruebas de botella y/o pruebas de campo. Los rangos de dosificación pueden variar de 10 a 1.000 ppm, aunque generalmente con un buen deshidratante se utilizan 10 a 100 ppm. Generalmente los crudos pesados requieren mayor dosificación que los crudos ligeros. El exceso de dosificación de demulsificante incrementa los costos de tratamiento, puede estabilizar aun más la emulsión directa W/O ó producir emulsiones inversas O/W.

Debido a que los agentes demulsificantes son tan numerosos y complejos para permitir su completa identificación, seleccionar el demulsificante más adecuado es un arte. La selección está basada en pruebas empíricas de laboratorio conocidas como Pruebas de botella, las cuales se han estandarizado como técnica de selección de estos productos en los laboratorios de la industria petrolera. Las pruebas de botella ayudan

a determinar cual química puede ser más efectiva para romper la emulsión de campo. Los resultados de esta prueba indican la menor cantidad de química necesaria para separar la mayor cantidad de agua de la emulsión W/O. Para el éxito de esta prueba se requiere seleccionar una muestra representativa de la corriente de producción de la emulsión, la cual debe reunir las siguientes características:

1. Ser representativa de la emulsión a ser tratada.
2. Contener cantidades representativas de los químicos presentes en el sistema, tales como inhibidores de corrosión y parafinas.
3. Debe ser fresca para evitar la estabilización por envejecimiento de la emulsión.
4. Simular las mismas condiciones de agitación y calentamiento tanto como sea posible.

El procedimiento para la aplicación de la prueba de botella, consiste básicamente en preparar una serie de botellas graduadas y añadir 100 ml de la emulsión agua en crudo fresca o preparada en laboratorio, se dosifican diferentes concentraciones del producto deshidratante a cada botella dejando una botella sin deshidratante (botella patrón), se homogeniza la mezcla y se colocan las botellas en un baño termostático a la temperatura deseada. Cada 30 min se lee el volumen de agua coalescida y se observa la calidad de la interfase, del agua separada y de las paredes del tubo. Con ésta data se construye la gráfica de Porcentaje de agua separada en función del tiempo, así como la gráfica de estabilidad, que permite conocer el tiempo necesario para separar $\frac{1}{2}$ ó $\frac{2}{3}$ del volumen de fase acuosa. Tales gráficas permiten determinar la eficiencia del deshidratante. La química deshidratante es una mezcla de surfactantes de carácter hidrofílico que se solubiliza en un solvente hidrocarbonado de tipo aromático para viajar por difusión y convección por la fase externa de la emulsión, es decir, el petróleo crudo, y adsorberse en la interfase de la

gota de agua. Este deshidratante combina sus efectos con los del surfactante natural, obteniéndose una mezcla eficaz que hace la emulsión inestable. ^[15]

2.2.7. Clasificación de los crudos por rango de grados API

Los hidrocarburos líquidos se clasifican en condensados y petróleos crudos dependiendo de la gravedad específica o los grados API de cada uno. La clasificación de los crudos por rango de grados API que utiliza el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo de Venezuela. Tabla 2.1. ^[16]

Tabla 2.1. Clasificación de los crudos según el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. [16]

TIPO DE CRUDO	GRAVEDAD API
Condensados	MAYOR 40,2
Crudos livianos	30° - 40,2°
Crudos medianos	22° - 29,9°
Crudos pesados	10° - 21,9°
Crudos extrapesados	9,9° - MENOR

2.2.8. Las microondas

“Micro” en griego significa pequeño. Las microondas son ondas electromagnéticas igual que las de radio, pero de *longitud de onda* mucho más pequeña: Las longitudes de ondas de radio AM son de unos 300 metros, las de FM, de unos 3 metros, mientras que las de microondas son de unos pocos centímetros. Específicamente las del horno son de 12 cm. Una onda en general es una sucesión de máximos y mínimos (como las olas en el agua) que va avanzando por el espacio. A la

distancia entre dos máximos se le llama longitud de onda. En el caso de una onda electromagnética, eso que oscila y avanza son campos eléctricos y magnéticos. ^[17]

2.2.9. Los hornos de microondas

El horno de microondas, un aparato llamado magnetrón produce microondas de alta intensidad y las envía a la cámara del horno. Allí, el agua líquida que posee lo que se desea calentar absorbe energía de la microonda: las moléculas de agua, que son polares, son agitadas por el campo eléctrico de la onda, golpeándose entre sí y aumentando su temperatura. Materiales de moléculas no polares no absorben tanta energía y por eso no se calientan. Tampoco lo hace el hielo, porque las moléculas de agua tienen posiciones fijas y no chocan tanto entre ellas. Por eso, descongelar con microondas tiene su ciencia. El magnetrón es una pequeña cavidad metálica con un filamento caliente que emite electrones, con alto voltaje que los acelera y un poderoso imán que los hace girar. Al girar, los electrones generan una onda resonante en la cavidad. Este tipo de resonancia es similar a cómo en una guitarra las cuerdas hacen resonar la caja de madera. La onda es posteriormente guiada hacia la cámara del horno donde llega a lo que se desea calentar. Las microondas calientan principalmente el agua líquida. La microonda, como toda onda electromagnética, es un campo eléctrico oscilante que empuja a las cargas eléctricas en la materia, y aunque la molécula de agua es neutra en total, tienen dos polos de carga: un extremo positivo y el otro negativo. Así, la onda empuja los extremos de las moléculas en direcciones opuestas, haciendo que éstas tiendan a girar y golpearse o rozarse entre ellas violentamente, lo que se traduce en calor. ^[17]

2.2.9.1 Principio Físico De Los Hornos Microondas

El principio físico del horno microondas es bastante sencillo. En el horno microondas un tubo electrónico, el así llamado magnetrón, genera un campo de

fuerza alterno. Las moléculas dentro del producto a ser calentado (sobre todo las moléculas de agua polarizadas), son forzadas a sí mismo a alinearse con el rápidamente cambiante campo eléctrico alterno. Estas moléculas oscilan alrededor de sus ejes en respuesta a la inversión del campo eléctrico que ocurre cinco mil millones de veces por segundo.

Esta oscilación crea una considerable fricción intermolecular que produce la generación de calor. Así el producto es calentado de adentro hacia afuera por las microondas. Esto es contrario al convencional calentamiento del producto en la que el calor se transfiere conveccionalmente del exterior al interior.

El fenómeno del calor friccional causado por las microondas se descubrió accidentalmente en 1946 durante un experimento con un tubo de campo magnético. Uno de los investigadores, Percy Spencer, noto que un pedazo de chocolate que llevaba en el bolsillo de su chaqueta se había derretido aun cuando el no había sido consciente de ningún calor. El descubrimiento activo el desarrollo de estos aparatos para la cocina e industria, utilizando este efecto calorífico.^[18]

2.2.9.2. ¿Cómo funcionan los hornos microondas?

Los hornos microondas funcionan transformando la energía eléctrica en ondas de alta frecuencia, ondas parecidas a las de radio y televisión que penetran en el interior de los alimentos provocando una fricción entre las moléculas, con la consiguiente producción de calor.

Cuando el horno se pone en marcha, las microondas se dispersan por toda la superficie de los alimentos, introduciéndose en su interior a una profundidad de hasta en 2,5 centímetros; en estas zonas es donde se produce la fricción entre las moléculas y un calentamiento muy rápido, el resto del alimento se calienta por contacto.

Las ondas electromagnéticas de alta frecuencia calientan el agua del alimento y lo cocinan desde dentro; por eso el producto se cuece en vez de asarse, ya que nunca supera los cien grados, la temperatura de ebullición del agua. Como se muestra en la figura 2.6.

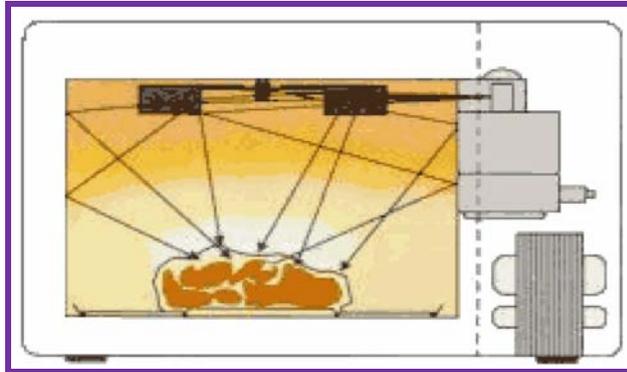


Figura 2.6 Dispersión de las ondas eletromagnéticas en La superficie de los alimentos ^[18]

2.2.9.3. Calentamiento por microondas

En un cuerpo cualquiera en estado neutro, normalmente la electricidad no se manifiesta porque sus moléculas, que son polarizadas, tienen una distribución que, en el todo, neutraliza las cargas, figura 2.7.

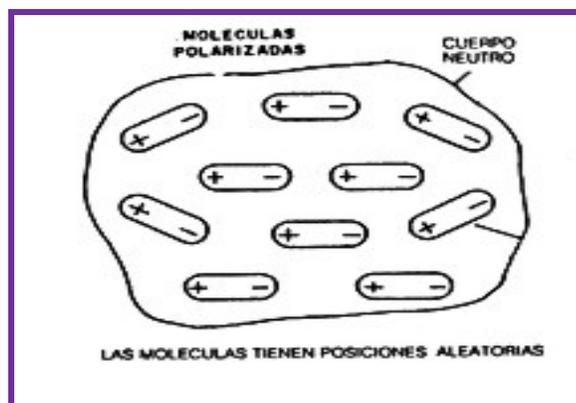


Figura 2.7. Cuerpo neutro con cargas neutras. ^[18]

Mientras tanto, tales moléculas polarizadas pueden fácilmente ser orientadas por la acción de campos eléctricos externos. En la figura 2.8 mostramos lo que ocurre con las moléculas de un cuerpo cuando son sometidas a la acción de un fuerte campo eléctrico.

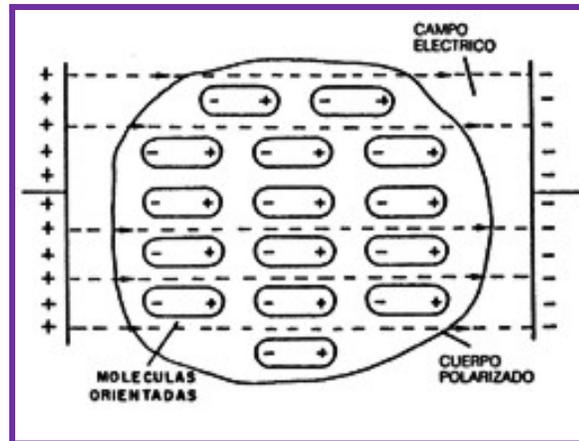


Figura 2.8 Moléculas de un cuerpo, cuando son sometidas a un campo eléctrico.

[18]

Si invertimos la polaridad del campo eléctrico, la tendencia de las moléculas es modificar su posición de modo de orientarse conforme a la nueva acción del campo, figura 2.9.

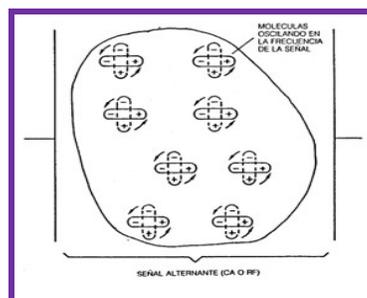


Figura 2.9. Las moléculas se orientan de acuerdo a la dirección del campo^[18]

Si el campo estuviera cambiando constantemente de polaridad, como en el caso de la aplicación de una señal de radiofrecuencia (RF), por ejemplo que las moléculas

cambiarían de posición rápidamente, intentando acompañar las modificaciones del campo y, en consecuencia, habría producción de calor. El material se calentaría en función de la energía gastada en el proceso por la propia vibración de sus moléculas. En el cocimiento por radiofrecuencia, por la acción de un campo eléctrico fuerte, las moléculas del alimento vibran todas con la misma intensidad y al mismo tiempo, generando calor de modo uniforme. Esto significa que la temperatura sube hasta el valor necesario para el cocimiento en toda la extensión del cuerpo, al mismo tiempo, figura 2.10.

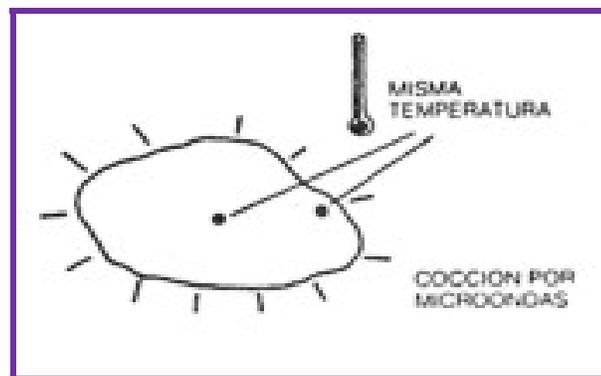


Figura 2.10. Cocción por microonda.^[18]

Para que ocurra el proceso indicado, no se puede usar cualquier tipo de señal de radiofrecuencia. Para penetrar en los alimentos y producir calor, la frecuencia debe ser elevada en la faja de las microondas y a una potencia considerable. Algunos hornos utilizan una frecuencia que corresponde a una longitud de onda de 12,24 cm.

La potencia máxima de la señal generada es del orden de los 700 watts. Para producir una señal en esta frecuencia, que corresponde a la gama de las microondas, con la potencia indicada, son necesarios dispositivos especiales; el horno en sí debe ser dotado de todos los sistemas de seguridad para evitar que el usuario reciba directamente esta radiación como se observa en la figura 2.11.

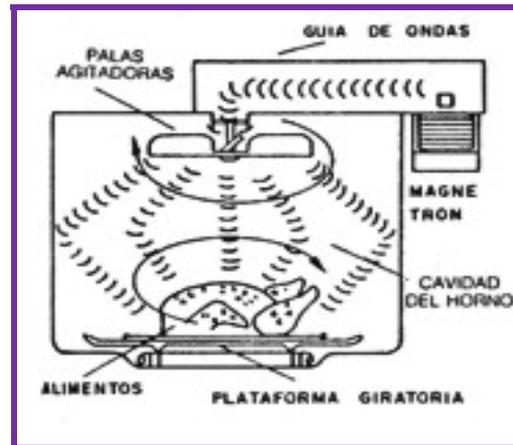


Figura 2.11 Distribución de ondas en un horno de microondas ^[18]

- ✓ Las microondas se comportan de modo bastante semejante a la luz, que también es una forma de radiación electromagnética.
- ✓ Existen, pues, cuerpos que son transparentes, traslúcidos u opacos, en relación a las microondas como en el caso de la luz.
- ✓ Los cuerpos transparentes a las microondas, como el papel, el vidrio, la loza, los plásticos, etc., son los que no afectan su propagación.
- ✓ Si colocamos alimentos en recipientes de estos materiales, las ondas los atravesarán, llegando directamente a los alimentos, produciendo el efecto deseado, figura 2.12.

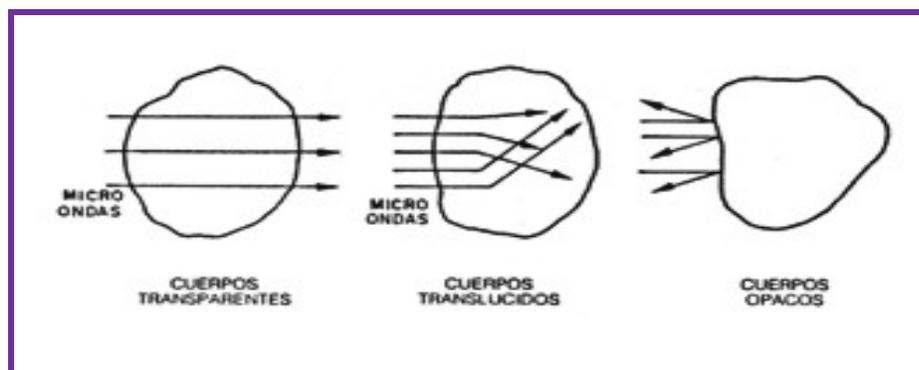


Figura 2.12. Comportamiento de las microondas ^[18]

Los cuerpos translucidos son aquellos en que la radiación penetra pero se difunde en su interior, siendo absorbida. Un ejemplo de cuerpo translúcido para la luz es el vidrio lechoso. Para las microondas serían los alimentos, que son cocidos.

Finalmente, tenemos los cuerpos opacos que reflejan esa radiación, no dejándola penetrar, como en el caso de los metales. Por lo tanto nunca debe utilizar vajilla de metal para cocinar en un horno de microondas, y si cualquier recipiente de los materiales citados a continuación: vidrio templado, porcelana para horno, cerámica para horno, cazuelas de barro cocido, plásticos, bolsas para freezer, un horno, rollo de película plástica antiadherente, cartón o mimbre, moldes de papel, etc.

Para el caso de los alimentos es preciso además tener en cuenta el grado de profundidad de penetración de las microondas.

Lo que ocurre es que, a medida que las microondas penetran en el alimento, su energía es absorbida, habiendo por lo tanto una reducción de su intensidad.

Este grado de penetración depende tanto de la naturaleza del material, que absorbe las microondas, como de su frecuencia.

El valor numérico de este grado de penetración es expresado para el punto en que la intensidad de las microondas decae hasta el 37 % del valor inicial.

Para los hornos de 2.450 MHz, el grado de penetración en la carne es de aproximadamente 2 a 3 cm, y para otras comidas, de 5 a 7 cm.

Esto significa que los trozos grandes de alimentos congelados o aves precisan por lo menos de 15 minutos de cocción para quedar a punto. ^[18]

2.2.9.4. Generación de ondas electromagnéticas

Las microondas pueden ser generadas de varias maneras, generalmente divididas en dos categorías: dispositivos de estado sólido y dispositivos basados en tubos de vacío. Los dispositivos de estado sólido para microondas están basados en semiconductores de silicio o arsenuro de galio, e incluyen transistores de efecto campo (FET), transistores de unión bipolar (BJT), diodos Gunn y diodos IMPATT. Se han desarrollado versiones especializadas de transistores estándar para altas velocidades que se usan comúnmente en aplicaciones de microondas.

Los dispositivos basados en tubos de vacío operan teniendo en cuenta el movimiento balístico de un electrón en el vacío bajo la influencia de campos eléctricos o magnéticos, entre los que se incluyen el magnetrón, el Klistrón, el TWT y el girotrón.^[17]

2.2.9.5. Usos de las ondas electromagnéticas

El Active Denial System (ADS, Sistema Activo de Rechazo) es un proyecto del Ejército de los Estados Unidos en fase de desarrollo para el uso de microondas como arma no letal. El ADS produciría un aumento de la temperatura corporal de un individuo situado a una distancia de hasta 500 metros, mediante el mismo sistema que utiliza un horno microondas.

Una de las aplicaciones más conocidas de las microondas es el horno microondas, que usa un magnetrón para producir ondas a una frecuencia de aproximadamente 2,45 GHz. Estas ondas hacen vibrar o rotar las moléculas de agua, lo cual genera calor. Debido a que la mayor parte de los alimentos contienen un importante porcentaje de agua, pueden ser fácilmente cocinados de esta manera.

En telecomunicaciones, las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan fácilmente a través de la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores. También hay más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio. Usualmente, las microondas son usadas en programas informativos de televisión para transmitir una señal desde una localización remota a una estación de televisión mediante una camioneta especialmente equipada. Protocolos inalámbricos LAN, tales como Bluetooth y las especificaciones de Wi-Fi IEEE 802.11g y b también usan microondas en la banda ISM, aunque la especificación 802.11 usa una banda ISM en el rango de los 5 GHz. La televisión por cable y el acceso a Internet vía cable coaxial usan algunas de las más bajas frecuencias de microondas. Algunas redes de telefonía celular también usan bajas frecuencias de microondas. En la industria armamentística, se han desarrollado prototipos de armas que utilicen la tecnología de microondas para la incapacitación momentánea o permanente de diferentes enemigos en un radio limitado.

La tecnología de microondas también es utilizada por los radares, para detectar el rango, velocidad y otras características de objetos remotos; o en el máser, un dispositivo semejante a un láser pero que trabaja con frecuencias de microondas.^[18]

2.2.9.6. Potencia de electricidad de un horno microondas

En los hornos microondas se distinguen dos tipos de potencia, la potencia absorbida que es la que consume la red cuando se enciende y la potencia de salida, que es la energía eléctrica que se convierte en energía calorífica. La relación entre las dos suele ser del 50%, lo que supone un rendimiento más alto en los microondas que en el de los sistemas tradicionales, como el horno eléctrico.

Cuanta mayor potencia de salida tenga el horno, más rápido se cocinarán los alimentos. Por ejemplo, si se quiere cocinar un pollo de un kilo de peso:

- A 1.400 watts de potencia de salida se tardará 10 minutos.
- A 1.200 watts de potencia de salida se tardará 12 minutos.
- A 1.000 watts de potencia de salida se tardará 14 minutos.

En cada horno se pueden encontrar unos símbolos que determinan el nivel de potencia que se necesita para las distintas funciones, por ejemplo para descongelar, calentar o cocinar.

- Al 100% de potencia se puede cocer, descongelar productos precocinados o calentar rápidamente.
- Al 75% de potencia se puede cocer al baño maría y cocinar productos más delicados.
- Al 50% de potencia básicamente la función es descongelar piezas grandes durante los dos primeros minutos.
- Al 25% de potencia sirve básicamente para descongelar.
- Al 15% de potencia, únicamente es para mantener caliente el alimento.^[18]

CAPÍTULO III.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Caracterizar físicamente las muestras de crudo mediano que se someterán al proceso de deshidratación.

El desarrollo experimental de esta etapa de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de procesamiento de Hidrocarburos, del Departamento de Petróleo de la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo Anzoátegui y en la Refinería Puerto la Cruz.

Se realizaron pruebas para caracterizar todos los crudos a estudiar, para ello se inició con una prueba de coalescencia de las gotas de agua o prueba de estabilidad, que permitió preparar emulsiones en las tres muestras de crudos, con iguales porcentajes de agua, tomando en cuenta el porcentaje de agua y sedimentos que tenían originalmente. Antes de emulsionar los crudos, éstos fueron caracterizados mediante los métodos ASTM (American Society Testing and Materials), reportados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Métodos ASTM para determinar propiedades fisicoquímicas de los fluidos

PROPIEDAD	MÉTODO
% de Agua y Sedimento	ASTM D 96
Gravedad API	ASTM 287
Densidad	ASTM 287
Destilación	ASTM D 86

3.1.1. Determinación del porcentaje de Agua y Sedimentos (%AyS)

Esta fue realizada en el laboratorio de la Refinería Puerto la Cruz Estado Anzoátegui. Para determinar la cantidad de agua y sedimentos, se agitó la muestra en su envase original con el fin de homogeneizarla. Luego se agregaron 50 ml de la muestra de crudo y 50 ml de solvente en dos tubos centrífugos, seguidamente se agregaron 5 gotas de demulsificante al 25% y se agitaron vigorosamente hasta homogeneizar la mezcla. La muestra se introdujo por 10 minutos, en un calentador a 120 °F, y se agitó durante 10 segundos, luego fue llevado a la centrífuga (Figura 3.1) a una velocidad de 1500 rpm por un tiempo de 10 minutos y se procedió a leer el volumen combinado de agua y sedimento en cada tubo. Después de tres lecturas consecutivas se realizó un promedio entre ellas.



Figura 3.1. Procedimiento para determinar el porcentaje de agua y sedimentos.

Método ASTM D 96

3.1.2. Determinación de la gravedad API

En lo concerniente a la gravedad API de los crudos, previamente ajustada la temperatura de la muestra en su envase, se colocó el cilindro, limpio, seco y a temperatura ambiente, sobre un plano horizontal libre de corrientes de aire que varíen la temperatura de la muestra por más de 5 °F, se añadió muy lentamente la muestra en el cilindro, removiendo cualquier burbuja de aire en la superficie de cilindro con

papel secante, para luego proceder a sumergir el hidrómetro en la muestra dejándolo descender suavemente ,Figura 3.2 , sin que toque las paredes del recipiente. Se mantuvo el vástago del hidrómetro seco para evitar lecturas erróneas; se procedió a leer la gravedad °API comparándola con las tabuladas en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Clasificación de los crudos de acuerdo a su gravedad API

TIPO DE CRUDO	GRADOS API
Liviano	30° API o más
Medianos	22°API a 29° API
Pesados	11°API a 21°API
Extra-pesados	1°API a 10° API



Figura 3.2. Medición de la gravedad API. Método ASTM D 287

3.1.3. Medición de la Densidad

Para la determinación de la densidad, se pesó el picnómetro vacío, el cual estaba seco y limpio. Luego se llenó con la muestra de crudo y se le colocó su tapa, para luego pesarlo lleno y determinar la densidad del crudo a temperatura ambiente. Se colocó el picnómetro con la muestra en un baño de circulación a la temperatura de (100 y 130°F), el picnómetro se mantuvo en el baño hasta que alcanzó la temperatura, evidenciado esto, se observó cuando dejó de fluir muestra por el orificio. Se dejó enfriar y se pesó nuevamente, Figura 3.3. Después de esto se procedió a calcular la densidad a las diferentes temperaturas mediante la ecuación 3.1.

$$\rho = \frac{m.\text{pic. lleno} - m.\text{pic. vacío}}{\text{volumen del picnómetro}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cc}} \right) \quad (\text{Ec. 3.1})$$



Figura 3.3. Equipos utilizados para medir las densidades de los crudos

3.1.4. Destilación

Para iniciar el proceso de destilación, preliminarmente se llenó el baño con suficiente hielo picado y agua hasta cubrir el tubo condensador. Luego se colocó 100 ml de muestra en el balón de destilación. Se cuidó que no pasara líquido al tubo de vapores del balón. Se cerró el balón colocando un corcho en la parte superior, que

contiene un termómetro. El bulbo del termómetro debe estar a nivel con el interior del tubo de vapores. El balón estaba conectado con el condensador al tubo de vapores y el cilindro graduado fue colocado en posición para recibir el líquido que sale del condensador en escalas de 10 ml; los cuales se colocan en un baño de agua fría, teniendo cuidado que el agua no caiga en el interior del cilindro. Luego se aplicó calor al balón de destilación a una velocidad tal que permitiera que la primera gota de destilado salga del condensador, para posteriormente ir regulando el calentamiento de modo que se obtenga un volumen de condensado de 4 a 5 ml por minuto ,Figura 3.4.



Figura 3.4. Equipo de destilación atmosférica. Método ASTM D-86.

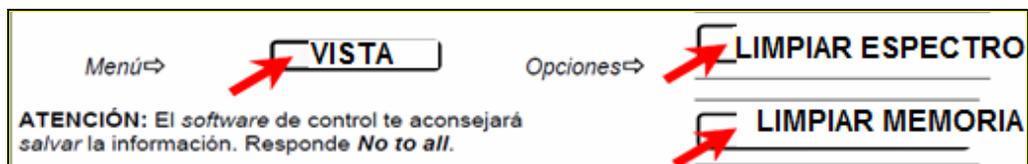
La lectura del termómetro se registra cada vez que se recogen 5 ml de destilado en el cilindro. La máxima temperatura observada en el termómetro, cuando el último vapor salga, es reportada como el “punto final de ebullición”. En ciertos casos, la temperatura a la cual el fondo del balón se encuentra seco, es anotada como “punto seco”. El volumen total de destilado recogido en el cilindro se registra como “**Porcentaje Recuperado**”, y el material que permanece en el balón de destilación se reporta como “**Residuo de la destilación**”, una vez enfriado y medido el volumen. La diferencia del volumen entre la muestra inicial (100 ml) y la suma del % recuperado y del residuo, se registra como “**Pérdidas de destilación**”, véase en el Apéndice A .Tabla A2, A5, A7.

3.2. Diferenciar mediante espectrometría de infrarrojo la naturaleza de los demulsificantes que se usaran para la deshidratación del crudo

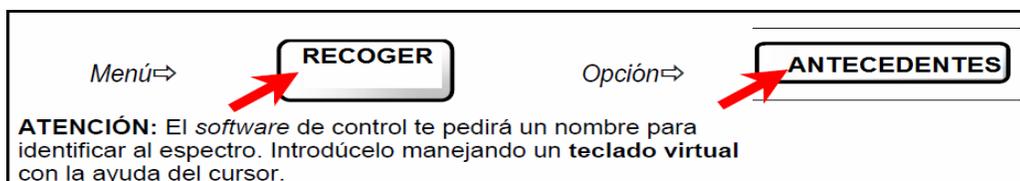
Para la realización de esta prueba se dispuso de 7 demulsificantes de los cuales 6 fueron suministrados por la empresa Lipesa y uno por la refinería de Puerto la Cruz. Las 7 muestras se les realizó la espectrometría de infrarrojo, mediante el uso de un espectrómetro de infrarrojo(THERMO SCIENTIFIC) ,figura 3.5, con la finalidad de determinar la familia química de cada una y posteriormente diferenciarlas en función de las gráficas resultantes, las pruebas de laboratorio fueron realizadas de acuerdo al siguiente procedimiento general:

Pasos a ejecutar para determinar un espectrómetro IR de una muestra líquida.

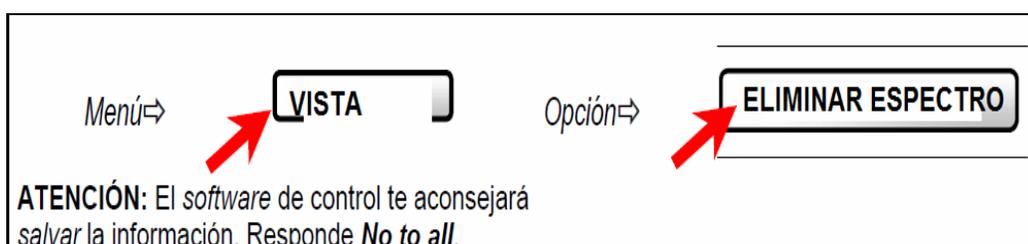
1. Limpiar la superficie de ZnSe (cristal de seleniuro de zinc): usar un disco de algodón seco.
2. Asegurarse que el aparato no muestre ningún espectro en la pantalla. Si lo hubiese, refrescar la memoria del aparato seleccionado.



3. Recoger los antecedentes seleccionado:

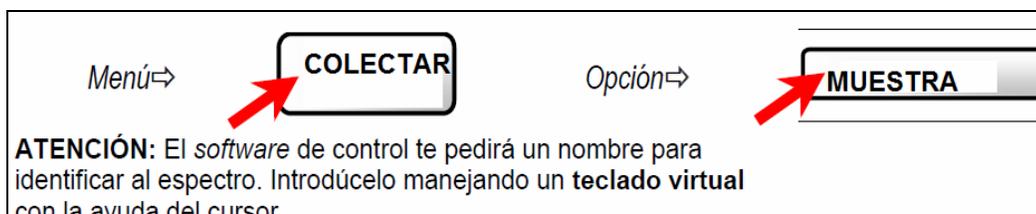


4. Una vez recogido el espectro de los antecedentes, éste queda almacenado internamente. Para mayor comodidad, eliminar el espectro de los antecedentes de la pantalla:



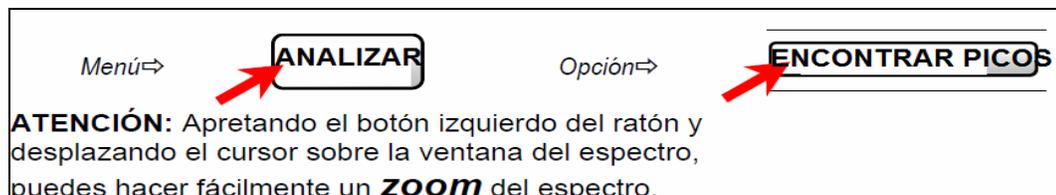
5. Recubrir el cristal de ZnSe con la muestra líquida. Sólo son necesarias unas pocas gotas. Tapa la muestra con un disco de teflón limpio y seco para evitar su evaporación.

6. Recoger el espectro de la muestra seleccionando:



7. Limpia la superficie de cristal de ZnSe y del plástico de teflón: usar primero el disco de algodón seco y después un segundo disco de algodón impregnado en acetona.

8. Analizar el espectro de la muestra para determinar la posición de los picos:



9. Imprimir el espectro y copia del reporte:



10. Una vez impresa la gráfica del espectro y el reporte, se debe refrescar la memoria del aparato seleccionado:

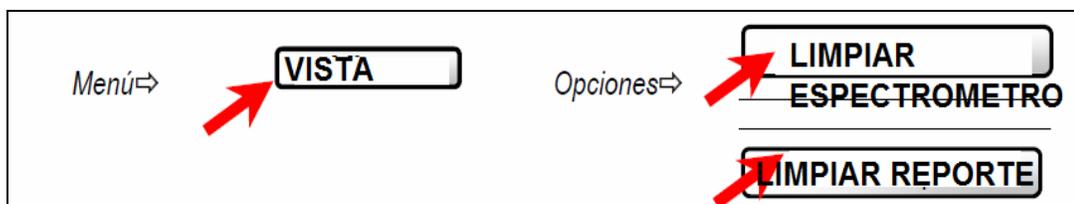


Figura 3.5. Espectrómetro infrarrojo (THERMO SCIENTIFIC)

3.3. Determinación de la estabilidad de las emulsiones

Después de realizadas las pruebas de caracterización de los crudos se observó que estos contaban con el % de agua establecido dentro de las especificaciones según normas ASTM D 96, % de Agua y Sedimento menor 1%, debido a que la muestra proviene de la Refinería Puerto la Cruz, Estado Anzoátegui y posiblemente fueron

sometidas anteriormente a un proceso de deshidratación, por esta razón se realizaron pruebas de coalescencia infinita, la cual consistió en dejar las emulsiones por un período de 72 horas para observar cuanto de agua podría desprenderse de la emulsión preparada.

El procedimiento para la realización de la prueba de coalescencia infinita fue el siguiente: Se el experimento con una relación de 90% de crudo (fase continua) y 10% de agua (fase dispersa) y 95% de crudo (fase continua) y 5% de agua (fase dispersa).

Luego se colocaron las relaciones (5/95) y (10/90) en los vasos del multimixer, Figura 3.6, para preparar 100 ml de emulsión para cada crudo y se agitaron por un tiempo de una hora aproximadamente. Cumplida esta fase las muestras se vertieron en tubos de ensayos graduados de 10 ml y luego se dejaron reposar para observar el tiempo medio de coalescencia cada a las 24, 48 y 72 horas, para así determinar si las emulsiones eran estables para ser sometida al proceso de deshidratación. El análisis de los resultados de estabilidad demostró que las emulsiones creadas no presentaron separación evidente de fases, por ende describieron un comportamiento estable en el tiempo

Luego de verificar la estabilidad de las emulsiones se procedió a emulsionar las cantidades totales de crudo y posteriormente a realizar los ensayos de deshidratación a través del método tradicional Prueba de la Botella y del método del microonda.



Figura 3.6. Equipo para la realización de las pruebas de coalescencia

3.3.1. Estudiar la eficiencia de los demulsificantes a ser utilizados para la deshidratación del crudo mediante la prueba de botella.

Se realizó la Prueba de Botella para las tres muestras de crudo al 5% y 10% de agua emulsionada, con dos demulsificantes, DA y DB. Con diferentes concentraciones para cada uno: 0.01ml, 0.1ml y 1ml. El ensayo con los dos demulsificantes se llevó a cabo con la finalidad de obtener una mayor veracidad en los resultados del método y determinar cuál concentración y química tiene mejor eficiencia.

En las figuras 3.7, se esquematizan el procedimiento para la aplicación de la prueba de botella:

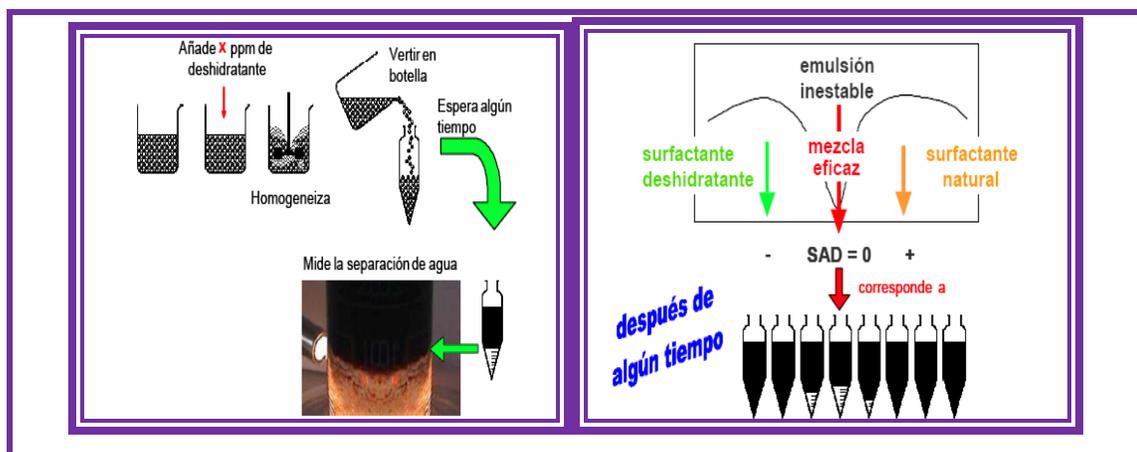


Figura 3.7. Procedimiento para la realización de la Prueba de la Botella ^[14]

Esta prueba consiste básicamente en preparar una serie de botellas graduadas y añadir 100 ml de la emulsión agua en crudo fresca o preparada en laboratorio, y se dosifican diferentes concentraciones del producto demulsificante a cada botella, dejando una botella sin demulsificante (botella patrón), se homogeniza la mezcla de forma manual en un beaker con un agitador de vidrio y se coloca las botellas en un baño termostático a la temperatura deseada, en este caso se evaluó a temperatura de 130 °F (temperatura cercana a la utilizada en la deshidratación del crudo en el campo 120 °F). Cada 10 min se lee el volumen de agua coalescida, y se observan la calidad de la interfase y las condiciones de las paredes del tubo. Con estos datos se construyen las gráficas de porcentaje de agua separada en función del tiempo y cantidad de química deshidratantes, las cuales se compararan con las obtenidas con el método de microondas.

3.4. Experimentar la deshidratación de crudo mediante la asistencia de ondas electromagnéticas (Microondas)

Para la realización y cumplimiento de este objetivo, se partió empleando los resultados obtenidos en la etapa anterior, ejecutando así una serie de pruebas de ensayo y error, para llegar a los estimados requeridos de separación de agua.

Esta parte de la investigación esta dividida en dos fases. La primera, fue para realizar la prueba de la botella para la escogencia de la química deshidratante y concentración optima de la misma, que pueda separar la mayor cantidad de agua, después de conocidas las cantidades de química deshidratante, se procedió a realizar la otra fase, la deshidratación asistida por ondas electromagnéticas para las tres muestras de crudos medianos emulsionadas al 5% y 10%.

A continuación se describe los procedimientos realizados para todas las pruebas:

En el caso de la selección de formulación óptima de química deshidratante, los pasos se encuentran ya registrados en la etapa anterior. Luego de escoger las formulaciones óptimas se procedió con las fases restantes para el cumplimiento de este objetivo.

Para la realización y cumplimiento de esta fase, se procedió a colocar 20 ml de las tres muestras de crudos medianos emulsionadas al 5% y 10% en un beaker, luego se le añadió la química deshidratante, en este caso 0.2 ml y se agitó de forma manual durante cinco minutos. Luego se distribuyó la mezcla de cada muestra al 5% y 10% en 1 tubo de ensayo de 10 ml, esto se realizó para cada nivel de potencia del horno microondas. Antes de comenzar el calentamiento, se fijaron cinco variables: Potencia generada, energía consumida, tiempo en el cual se alcanzó una temperatura de 130 °F, temperatura total alcanzada y agua separada por cada nivel de potencia.

A partir de las variables anteriores se comenzó el calentamiento a través de radiación electromagnética, figura 3.8.

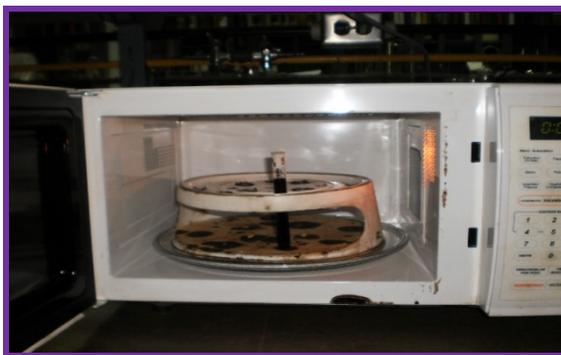


Figura 3.8. Muestra de crudo siendo sometida a radiación electromagnética

Luego se fue variando los niveles de potencia del nivel 1 hasta el nivel 10, cada nivel de potencia representado en cada tubo de ensayo. Se comenzó el calentamiento

con un tiempo de exposición de la muestra de 10 segundos, y luego se fue incrementando dicho tiempo de 30 segundos hasta alcanzar la temperatura de 130 °F, esta temperatura se fue registrando cada vez que se incrementaba el tiempo de exposición, se retiraba la muestra del horno y se introducía un termómetro, y así se fue realizando el ensayo, como se observa en la figura 3.9; consecutivamente hasta alcanzar la temperatura especificada.

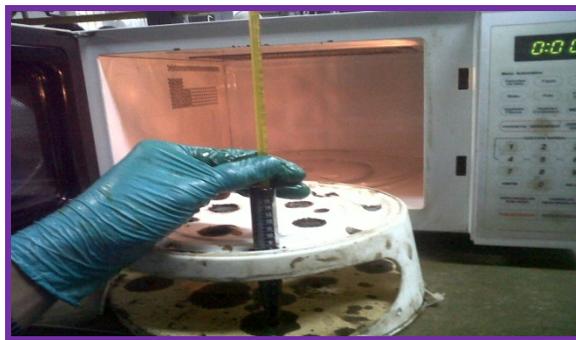


Figura 3. 9. Muestra de crudo tomando la temperatura después de ser sometida a exposición electromagnética

Para cotejar los resultados obtenidos se realizaron dos veces las pruebas. Luego de ir ensayando con cada nivel de potencia y una vez alcanzada la temperatura deseada, cada uno de los tubos de ensayo fue llevado a centrifugación, figura 3.10; y así visualizar el total de agua separada y cotejarlos con los resultados obtenidos a partir de la prueba de la botella anteriormente realizada.



Figura 3.10. Muestras de crudos llevadas a centrifugación después del calentamiento mediante ondas electromagnéticas

3.5. Evaluar la eficacia de la deshidratación asistida con microondas en referencia al método tradicional Prueba de Botella

Para el desarrollo de ésta etapa se realizó una comparación de las pruebas tradicionales para la deshidratación de crudo la Prueba de Botella con el nuevo método estudio deshidratación mediante ondas electromagnéticas. Tomando como variables fundamentales: escogencia y acción del demulsificante, potencia transmitida y el tiempo requerido para la separación de fase. Dichas variables fueron factores decisivos en el desarrollo de esta investigación.

3.6. Materiales, equipos, sustancias y herramientas

Equipos

- **Equipos de Laboratorio**

- Centrífuga gemmy modelo LE221 con capacidad de 4500 rpm.
- Baño de circulación 130 °F.
- Balanza analítica.
- Baño de circulación con agitador y calentadores controlados por un termorregulador.
- Cronómetros graduados en centésimas de segundo.
- Soporte universal.
- Mechero o manta de calentamiento.
- Horno microondas.
- Equipo de destilación.
- Espectrómetro infrarrojo.
- Seta oil test centrifuge EQ115-7
- Calentador QBD2

Computadores:

- Máquina A (Portátil).

- Toshiba satellite modelo L305-S5908.
- Procesador Intel ® Core Duo.
- Unidad de CD-ROM.
- Disco Duro 160 GB.
- Memoria RAM 4GB.

- **Dispositivos de Almacenamiento Portátiles:**

- CD's 700 MB.

- Pen Drive 2 GB y 4 GB.

Materiales

• Materiales de Laboratorio.

- Tubos centrífugos con capacidad para 100 ml.
 - Hidrómetros de vidrio con escala en °API.
 - Termómetros escala de (-5,+215) °F.
 - Cilindros de vidrio.
 - Picnómetros de vidrio de 50 ml.
 - Beckers de 60 ml, 100 ml, 500 ml.
 - Cilindros graduados de 10, 20, 50 y 100 ml, 500 ml y 1000 ml .
 - Balones de 500 ml.
 - Tubos de ensayos graduados de 10, 20, 30 y 50 ml.
 - Base para microondas.
 - Tapones de goma.
 - Pinzas.
- Hojas de papel bond tamaño carta para impresora.
 - Bolígrafos negro y azul.
 - Portaminas.
 - Lápiz.
 - Minas HB.
 - Borradores de goma.
 - Block de notas.

Todos los materiales con disponibilidad de 100 %, la fuente de financiamiento ingresos propios, excluyendo los materiales de laboratorio los cuales se encuentran en los laboratorios de procesamiento y emulsiones y sus aplicaciones y en el laboratorio de Refinería Oriente.

Sustancias

- Muestras de Crudo.
- Solvente (Tolueno, Xileno, Kerosén, gasoil, etc.).
- Hielo.
- Químicas deshidratantes.
- Agua destilada.

Herramientas

- Sistema Operativo. Windows 7.
- Microsoft® Office 2007: Word, Power Point, Excel.
- Microsoft® Internet Explorer Version 9.
- Adobe Reader Version 9.0.
- WinRAR Archiver.

Todos los equipos y materiales de laboratorio con disponibilidad de 100%, estos se encuentran distribuidos entre los laboratorios de Procesamiento de Hidrocarburos y de Emulsiones y sus Aplicaciones, en el Departamento de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

3.7. Especificaciones del Equipo Microondas

- | | |
|--------------------|-------------|
| • Marca | Premier |
| • Modelo | MW-1521 |
| • Fuente de Poder | 120V-60Hz |
| • Consumo de Poder | 1450 Vatios |

- Exposición Máxima 900 Vatios
- Salida de la Parrilla (Grill) 1000 Vatios
- Capacidad del Horno 1.0 Pies Cúbicos
- Diámetro del Plato 315 mm
- Dimensiones 511 x 427 x 283 mm
- Peso 14.8 kg

CAPÍTULO IV.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterizar físicamente las muestras de crudo mediano que se someterán al proceso de deshidratación

Con la destilación realizada mediante la norma ASTM D 86, se pudo calcular el factor de caracterización KOUP, o factor K, para cada crudo, los valores arrojados se encuentran en la tabla 4.1, siendo estos: 9,6893, 9,8097, 9,64 para las muestras 1,2 y 3 respectivamente, los cálculos correspondientes se pueden observar en el apéndice A.

Tabla 4.1. Resultados obtenidos de la caracterización Fisicoquímica de los crudos analizados

PROPIEDADES	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
% AyS Original	0	0	0,2
Gravedad API @ 60°F	23	26.1	24,8
	Mediano	Mediano	Mediano
Densidad @ Temp. Ambiente		0,904618	0,91204
Densidad @ 100 °F (gr/cc)	0,914632	0,89525	0,90349
Densidad @ 130 °F	0,886312	0,885814	0,894576
Factor de caracterización K	9,6893	9,8097	9,64
Naturaleza del crudo	Base Asfáltica	Base Asfáltica	Base Asfáltica

Según la norma ASTM D 96 el porcentaje de agua y sedimentos (%A y S) las muestras uno y dos presentaron 0% y muestra tres 0,20%, no se observaron sedimentos en estas. Los estudios realizados indican que son crudos medianos,

teniendo valores de acuerdo con la norma ASTM D 287 de: 23 °API para el crudo 1, 26,1 °API par el crudo 2 y 24,8API para el crudo 3.

4.2. Diferenciar mediante espectrometría de infrarrojo la naturaleza de los demulsificantes que se usarán para la deshidratación del crudo.

Para el desarrollo de este objetivo fue necesario el uso de un espectrómetro infrarrojo, este equipo fue facilitado por el departamento de ingeniería Química. La realización de la prueba consistió en someter 7 muestras de demulsificantes en el espectrómetro infrarrojo para estudiar el comportamiento de las curvas que arrojo cada demulsificantes y determinar si tienen similitud o no entre ellas, y así seleccionar las que presenten diferencias y así elaborar el proceso de deshidratación.

De acuerdo con la figura 4.1 se puede apreciar que 6 demulsificantes suministrados por la empresa Lipesa, presentaron un comportamiento similar y solo uno presento una tendencia diferente al resto del grupo proporcionado por PDVSA Refinación Oriente. En cuanto a los que tienen la igual tendencia se puede decir que posiblemente pertenecen a la misma familia química. De acuerdo a los análisis comparativos se seleccionó el demulsificante que presento tendencia diferente al resto del grupo y uno de los 6 demulsificante que presentaron la misma tendencia. Denominados demulsificante (DA) y demulsificante (DB). La comparación de las químicas se puede apreciar en las gráficas arrojadas por el espectrómetro de infrarrojo mostrado en el apéndice B figura B1 y B2.

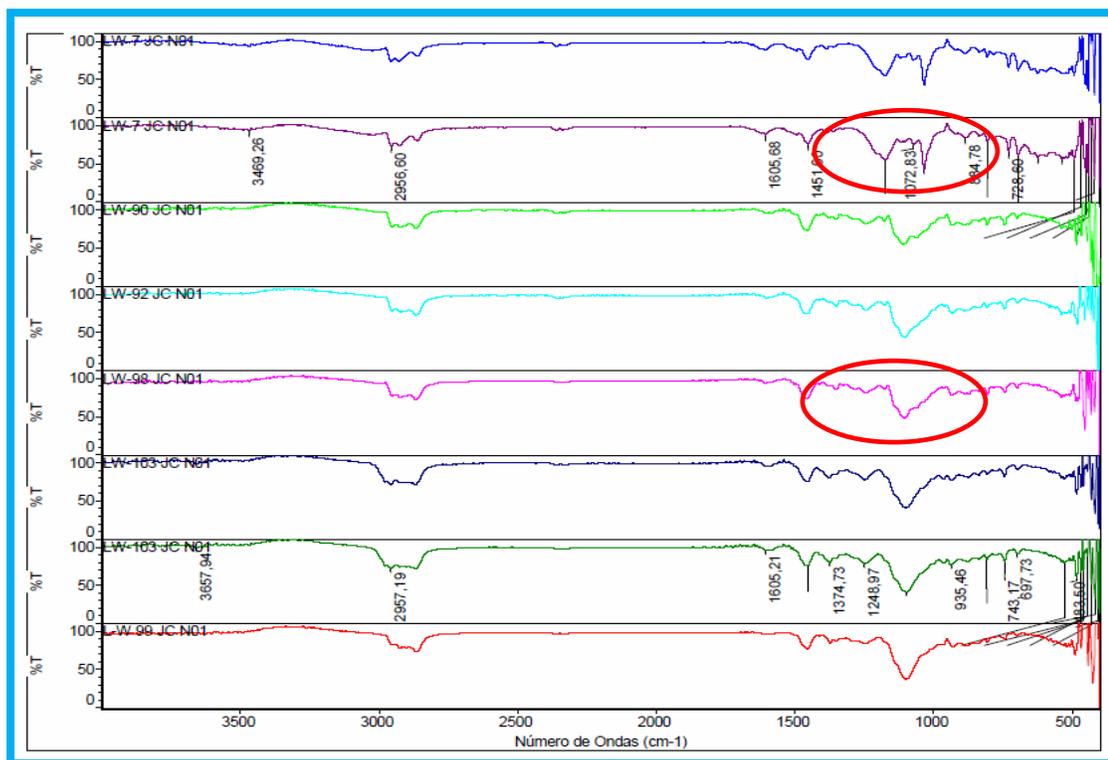


Figura 4.1 Espectrometría infrarrojo de cada demulsificante.

4.3. Estudiar la eficiencia de los demulsificantes a ser utilizados para la deshidratación del crudo mediante la prueba de botella.

Para el desarrollo de esta prueba se emplearon dos demulsificantes de origen comercial, proporcionados por PDVSA Refinación Oriente y la empresa Lipesa.

En las pruebas de la botella fueron realizados ensayos por cada demulsificantes empleados (DA y DB) para las concentración (0.01, 0.1, 1ml), a las mismas condiciones de temperatura (130 °F). Todos los ensayos se realizaron para lapsos de

tiempo de (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 y 270 minutos). A partir de este tiempo no se observó separación de agua en la emulsión.

Los dos demulsificantes aplicados a las muestras, describieron diferentes comportamientos en cuanto a la calidad del agua evaluada ópticamente, obteniéndose: agua clara, turbia y sucia dependiendo del desemulsificante empleado y de su concentración. (Figura 4.2)



Figura 4.2. Factores considerados para evaluar la calidad del agua coalescida

4.3.1. Estudio de la Muestra 1

Iniciada la prueba de botella, se evaluó primero la muestra 1 con 5 % de fase dispersa, dando como resultados que empleando el demulsificante DA, con concentración de (0.01 ,0.1, 1 ml), coaleció el 6 %, 14% y 80% respectivamente a diferencia al demulsificante DB, con las mismas concentraciones coaleció el 50%, 54% y 80% del agua emulsionada respectivamente. Es necesario acotar que el desemulsificante más eficiente, es aquél capaz de hacer coalescer mayor cantidad de agua, con la menor dosificación y menor tiempo. La figura 4.3, engloba la actuación de los 2 demulsificantes. En el apéndice C, se presenta la tabla C1 con los resultados obtenidos.

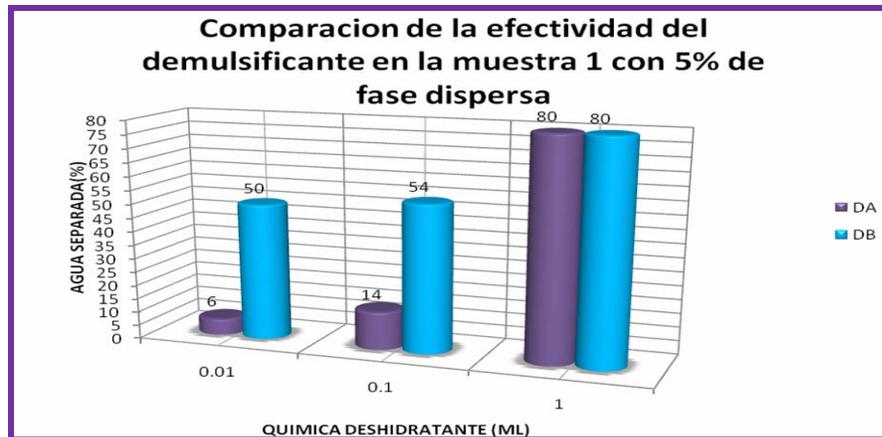


Figura 4.3. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 1 con 5 % de fase dispersa

La concentración de (1 ml) alcanzó 80% de coalescencia a un periodo de tiempo correspondiente a 270 minutos empleando el demulsificante DA y el mismo porcentaje de agua separada usando el demulsificante DB, en un tiempo de 260 minutos, lo que indica que el demulsificante DB a dicha concentración separó el mismo porcentaje de agua en un tiempo menor que DA. En la Figura 4.4 se puede apreciar la diferencia de tiempo con referente a la separación de agua.



Figura 4.4. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 1 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml

En lo que respecta a la muestra 1 con 10 % de fase dispersa, se observó que el demulsificante DA, obtuvo un porcentaje de agua separada de (15, 50, 100 %) a las concentraciones (0.01 ,0.1, 1 ml), Mientras el demulsificantes DB logró coalescer (40, 70,100%) a las mimas concentraciones. Es de hacer notar, que el porcentaje de agua es un factor influyente en la eficiencia del demulsificante, ya que en el caso de la muestra 1 emulsionado al 5 % el demulsificante DB separo un (80%) del agua y en la muestra 1 al 10% se obtuvo un 100% de agua separada, En el apéndice C, la tabla C2 presenta los datos obtenidos de la muestra 1 al 10% de agua dispersa. En la (Figura 4.5) se presentan de manera gráfica estos resultados.

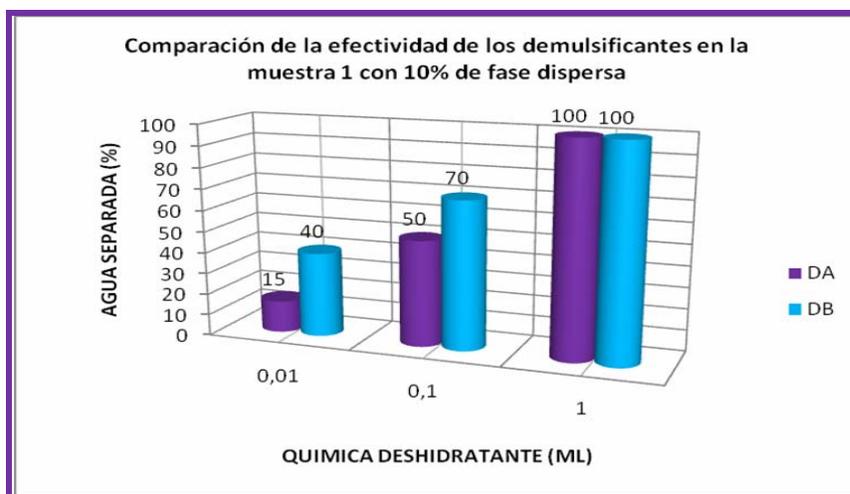


Figura 4.5. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 1 con 10% de fase dispersa

El demulsificante DA a la concentración de 1ml alcanzó la coalescencia del 100 % del agua a un tiempo de 270 minutos, mientras que el demulsificante DB, logró coalescer el mismo porcentaje de agua a los 250 minutos, lo que indica que el demulsificante DB presentó una actuación en menor tiempo como se muestra en la

figura 4.6. En el apéndice C, tabla C2 se muestra individualmente el comportamiento de los 2 demulsificantes en estudio.

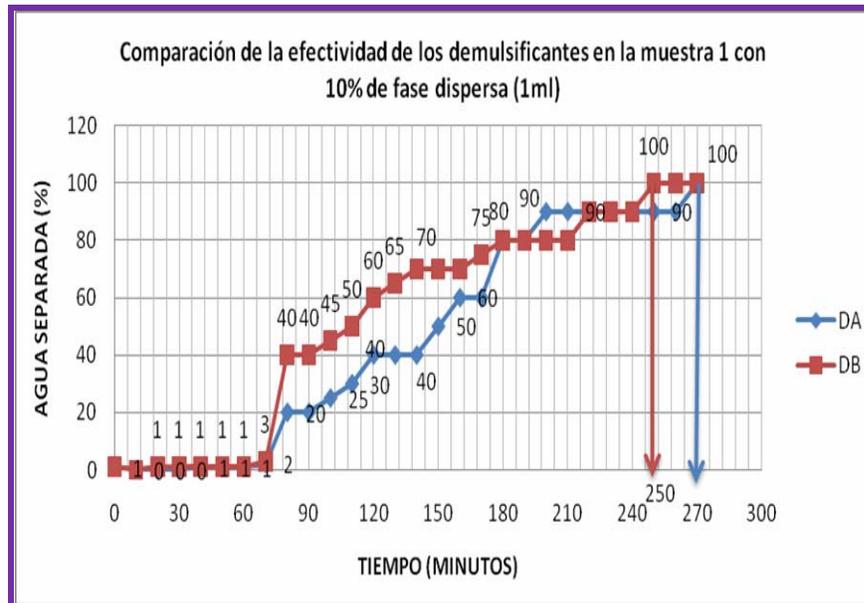


Figura 4.6. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 1 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml

4.3.2. Estudio de la Muestra 2

En el caso de la muestra 2 con 5 % de fase dispersa, se observó que ambos demulsificantes DA y DB a concentraciones (0.01, 0.1, 1 ml) se obtuvo una coalescencia del 100% a las tres concentraciones, lo cual es un indicativo de que este tipo de crudo ofrece menor resistencia que la muestra evaluada anteriormente y resulta tanto eficaz como eficiente.

En la Figura 4.7, se observa la efectividad de ambos demulsificantes a todas las concentraciones.

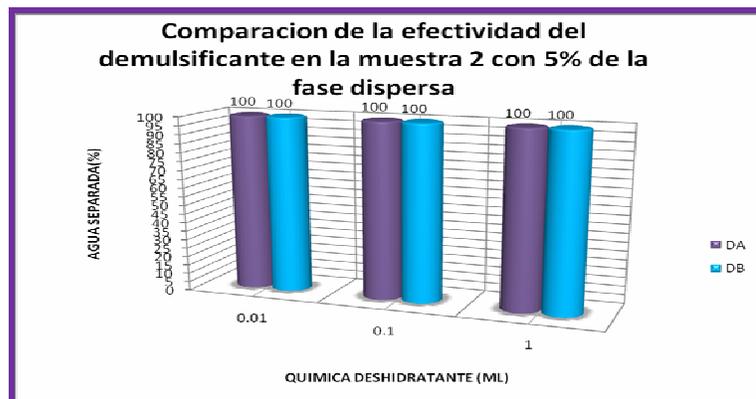


Figura 4.7. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 2 con 5% de fase dispersa

Tomándose la dosificación de 1 ml, como el más eficiente, se aprecia que para el demulsificante DA luego de haber transcurrido 160 minutos se obtuvo el 100% de separación de agua, mientras que el demulsificante DB logró separar el mismo porcentaje a los 140 minutos, lo que indica que DB es tanto eficaz como eficiente en comparación con DA este efecto se observa en la Figura 4.8. En el apéndice C, la tabla C3 contiene los datos para la construcción de estos gráficos.

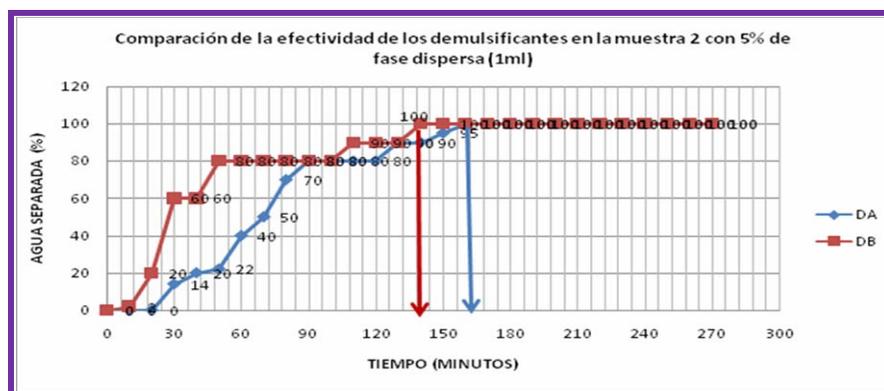


Figura 4.8. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 2 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml

En lo que respecta a la muestra 2 con 10 % de fase dispersa se observó que el demulsificante DA, logró coalescer (15, 17 y 50%) a las concentraciones de (0.01, 0.1 y 1 ml) respectivamente y el demulsificante DB consiguió separar (15, 25 y 50%) de agua emulsionada a las mismas concentraciones. Los valores de agua separada se observa en la figura 4.9.

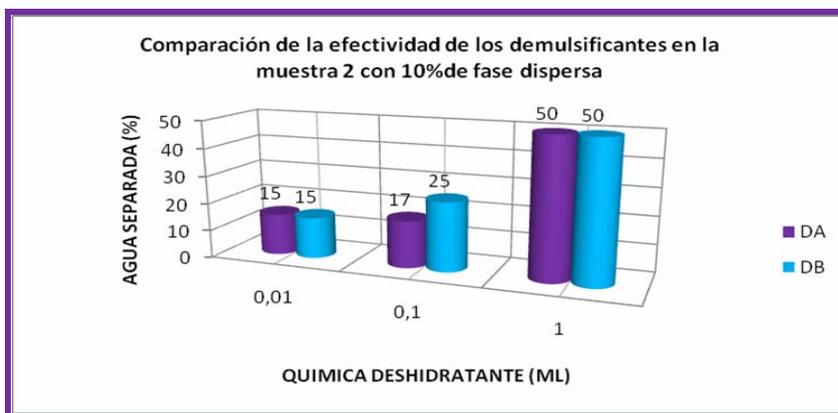


Figura 4.9. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 2 con 10 % de fase dispersa.

A los 270 minutos se observó la separación de agua correspondiente a un 50 % con (1ml) usando el demulsificante DA, mientras el demulsificante DB separó la misma cantidad a un tiempo de 240 minutos, aunque, ambos demulsificantes lograron coalescer el 50% de agua emulsionada a la concentración de 1 ml se puede apreciar que el demulsificante DB actúa de forma más rápida y por lo tanto es más eficaz. Como se muestra en la Figura 4.10. El apéndice C, la Tabla C4 contiene los datos respectivos a la Muestra número 2 con 10% de fase dispersa.

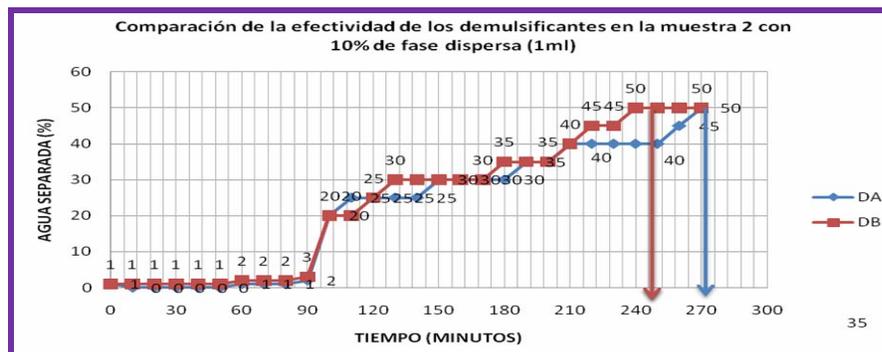


Figura 4.10. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 2 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de (1ml.)

4.3.3. Estudio de la Muestra 3

Analizando la muestra 3 con 5 % de fase dispersa, dio como resultados que empleando el demulsificante DA, a las concentraciones de (0.01 ,0.1, 1 ml), coalesció el (80, 80 y 100 %) del agua emulsionada respectivamente, mientras que el demulsificante DB logró separar el 100% del agua a todas las concentraciones antes mencionadas, por ende este presenta la mayor eficiencia, en comparación con el demulsificante DA que necesita mayor cantidad de (1 ml) para coalescer el mismo porcentaje de agua correspondiente a un 100 %. La figura 4.11, muestra la actuación de los dos demulsificantes. En el apéndice C, se presentan la tabla C5 con los resultados obtenidos



Figura 4.11. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 3 con 5 % de fase dispersa

La concentración de 1 ml para el demulsificante DA coalesció el 100% a un tiempo de 110 minutos, mientras que el demulsificante DB separo la misma cantidad de agua a los 90 minutos, lo que indica que el demulsificante DB, es eficaz en comparación con el demulsificante DA ya que se obtuvo un 100% de agua separada a un tiempo superior. En la Figura 4.12, se evidencia este fenómeno.



Figura 4.12. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 3 con 5 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml

En el caso de la muestra 3 con 10 % de fase dispersa, el demulsificante DA logró separar (80, 60 y 100%) de agua emulsionada a las concentraciones de (0.01, 0.1y 1) respectivamente mientras que el demulsificante DB a las mismas concentraciones coalesció (80, 100 y 100%) de agua respectivamente como se observa en la figura 4.13. El demulsificante DB presenta la mayor eficiencia a las dosificaciones de 0.1 y 1 ml, por lo tanto se podría decir que está diseñado para el tratamiento de crudos de este tipo, ya que en el caso de la muestra 3 con 5 % de fase dispersa, el demulsificante DB también fue el más eficiente y eficaz ya que presentaba el mayor volumen coalescido de agua en comparación con los demás.

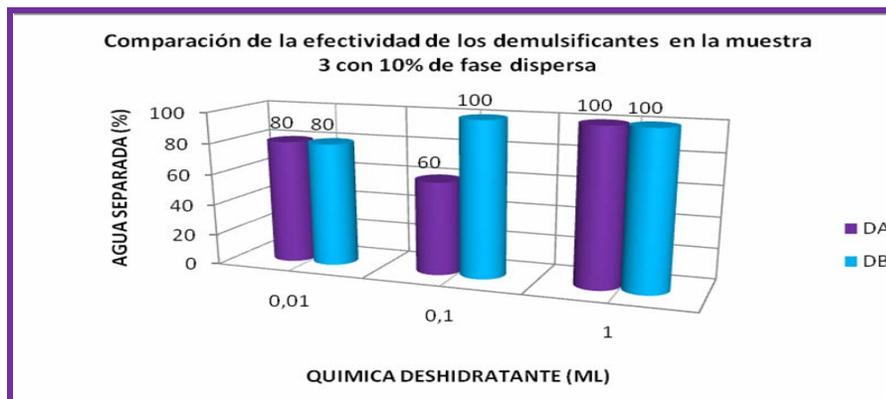


Figura 4.13. Efectividad de los dos demulsificantes aplicados mediante la Prueba de Botella para la Muestra 3 con 10 % de fase dispersa

La (figura 4.14) muestra que en un tiempo de 180 minutos el demulsificante DB separa el 100 % de la fase dispersa, con 1 ml de dosificación, mientras que el demulsificante DA logra coalescer el 100% de agua con la misma dosificación a los 270 minutos. En el apéndice C, la Tabla C6 muestra los resultados obtenidos.

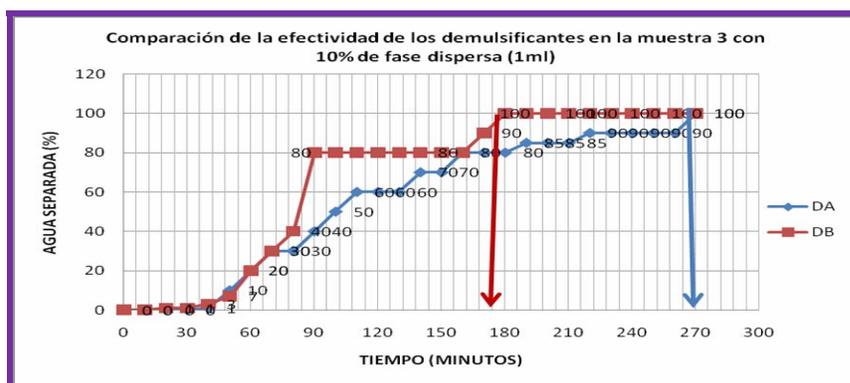


Figura 4.14. Comparación de la actuación de los dos demulsificantes en el tiempo para la Muestra 3 con 10 % de fase dispersa a la dosificación de 1 ml

4.4. Experimentar la deshidratación de crudo mediante la asistencia de ondas electromagnéticas (Microondas)

Una vez determinado en la etapa anterior que el demulsificante DB a la concentración de 1ml fue el que proporcionó mayor separación de fase en las tres muestras de crudos, se procedió a realizar el ensayo de deshidratación aplicando ondas electromagnéticas hasta alcanzar la temperatura utilizada en la prueba de botella de 130°F y de posteriormente analizar los resultados obtenidos y mostrados en el Apéndice D.

Los niveles de potencia 1, 2 y 3, se consideraron depreciables, ya que el tiempo de exposición de las muestras a estos niveles de potencia era muy prolongado, en cuanto a ahorro de tiempo se procedió a realizar dichas pruebas desde el nivel de potencia 4.

En todo proceso de deshidratación el objetivo principal es lograr de la forma más eficiente y en el menor tiempo la separación de las fases totalmente, en función de este propósito se discutirá la eficiencia o no del método, también, se tomaron en cuenta las variables: potencia transmitida, energía consumida, temperaturas alcanzadas, tiempo y agua separada.

4.4.1. Estudio de la muestra 1

4.4.1.1. Análisis de resultados para el crudo 1 emulsionado al 5% de agua

La tabla 4.2 muestra que al inicio de la prueba, en la potencia 4 se obtuvo el 60% de separación agua del crudo. De igual manera se evidencia que a medida que se aumentó la potencia el volumen coalescido incrementó, a partir de la potencia 7 se

aprecia una total separación de fases 100%. Este ensayo mostró los resultados esperados teniendo mejores resultados desde la potencia 7 hasta la 10.

Tabla 4.2. Resultados de prueba de radiación electromagnética para el crudo 1 emulsionado al 5% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmitida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada 130 (°F)	-	-	-	129,2	131	131	132,5	131	138	131
Tiempo al Cual se alcanzo la Temperatura deseada (Seg.)	-	-	-	510	290	170	150	130	110	90
Agua separada (ml)	-	-	-	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Agua Separada (%)	-	-	-	60	80	80	100	100	100	100

Teóricamente se estableció que mientras mayor potencia se transfiriera a las muestras, menor sería el tiempo de exposición de las mismas a radiación electromagnética, por lo tanto esta teoría fue corroborada con la práctica, comenzamos a deshidratar con una potencia de 4 (360 vatios) y en esta la temperatura alcanzada fue de 129,2 °F a un tiempo de exposición de 510 segundos, mientras que para la potencia 5, el tiempo de exposición de la muestra fue reduciéndose, esto debido al aumento de energía transmitida hacia la muestra. Las microondas actúan directamente sobre las moléculas de agua, provocando así agitación entre ellas, razón que causa calentamiento de la muestra a ser evaluada, en la figura 4.15, se representa una de las muestras después de haber sido sometidas al proceso de deshidratación.



Figura 4.15. Muestras del crudo 1 emulsionado al 5%, después de ser sometidas al proceso de deshidratación asistida con microondas.

Al analizar figuras 4.16, se puede apreciar que este método fue mejorando la capacidad de separación del desmulsificante, mientras mayor potencia se le transmitía a la muestra, y con ello se logró un aumento de temperatura hasta alcanzar la temperatura deseada de 130°F en cada potencia.

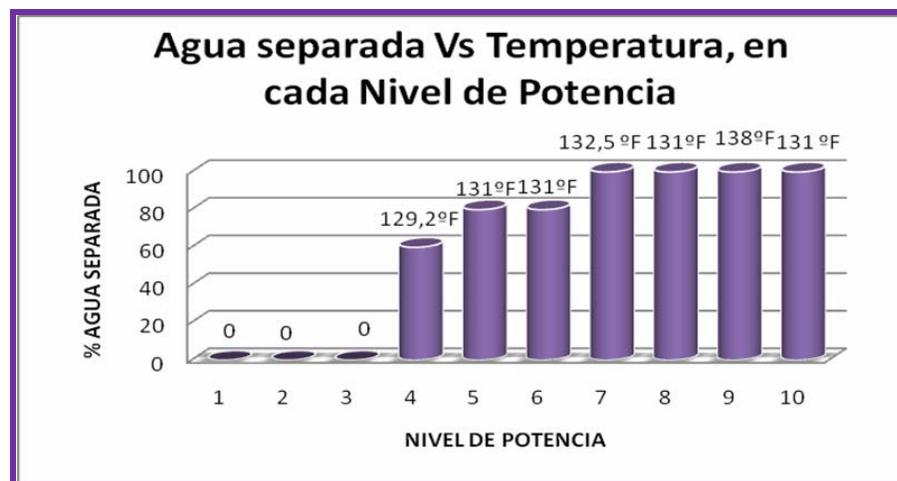


Figura 4.16. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 1 al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas

En la figura 4.17. Se observa que los tiempos de exposición de la muestra fueron disminuyendo, a medida que se aumenta el nivel de potencia.



Figura 4.17. Agua liberada en cada nivel de potencia para el crudo 1 al 5%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas

De acuerdo a los gráficos se confirma lo mencionado anteriormente. Los mejores resultados para este crudo fueron obtenidos a los niveles de potencia de 7 (630 Vatios), 8 (720Vatios), 9 (810 vatios) y 10 (900 vatios) arrojando un tiempo de exposición de la prueba: 150, 130, 110, 90 segundos y temperaturas de: 132,5 °F, 131°F, 131°F, 132,5 °F, 131°F, 138°F y 131 °F respectivamente. Separándose un total de 100% de agua presente en la muestra.

4.4.1.2. Análisis de resultados para el crudo 1 emulsionado al 10% de agua.

Para el caso del crudo 1 emulsionado al 10% de agua, se muestra en la tabla 4.2 que la separación total se obtuvo a partir de la potencia 8 (720 Vatios); arrojando un porcentaje de 100 % de agua separada, de igual forma se logró el mismo porcentaje para la potencia 9 (810 vatios) y 10 (900vatios).

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 1 emulsionado al 10% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmitida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada 130 (°F)	-	-	-	129,2	131	131	138,5	131	140	136,4
Tiempo al Cual se alcanzo la Temperatura deseada (seg)	-	-	-	370	290	190	170	130	90	70
Agua Separada (ml)	-	-	-	0,5	0,5	0,7	0,7	1	1	1
Agua Separada (%)	-	-	-	50	50	70	70	100	100	100

En la figura 4.18 se puede visualizar la separación de fases de la muestra 1 al 10 % de agua emulsionada mediante la deshidratación por el método de microondas.



Figura 4.18. Lectura de la cantidad de agua separada, de la muestra de crudo 1 al 10%, después de ser sometida al proceso de deshidratación

En la figura 4.19 se observa como es el progreso de separación del porcentaje de agua a medida que se incrementa las potencias, y a su vez como aumenta la temperatura hasta alcanzar una temperatura igual o cercana a 130 °F.

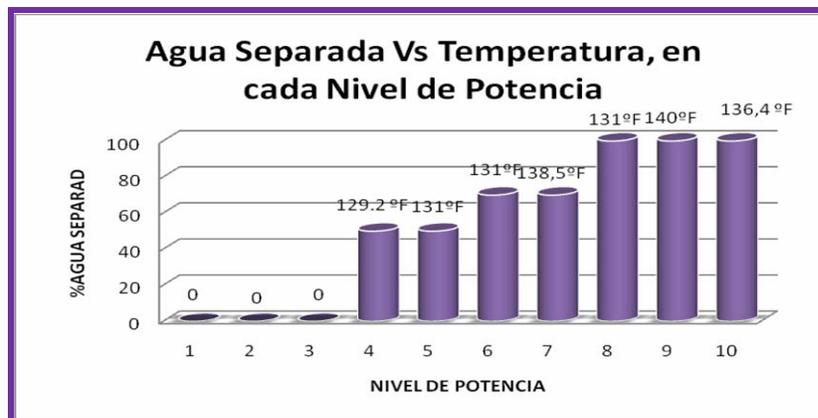


Figura 4.19. Agua liberada en cada nivel de potencia para el crudo 1 emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas

Para lograr el 100% de separación de agua para la muestra 1 al 10% solo se necesitó un tiempo de exposición de 130 segundos, alcanzando en éste la temperatura deseada 130°F. Los niveles de potencia 4 y 5 se logró una separación de agua de 50% y para los niveles 6 y 7 un 70% lo que certifica que en el método la deshidratación desde la potencia 4 hasta la 10 asciende de forma progresiva la separación de agua y disminuye el tiempo de exposición de la muestra. Estos resultados se pueden observar en la figura, figuras y 4.20.



Figura 4.20. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 1al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas

4.4.2. Estudio de la muestra 2

4.4.2.1. Análisis de resultados para el crudo 2 emulsionado al 5% de agua

En la tabla 4.4 se puede evidenciar que la deshidratación máxima de 100% de agua separada se logró a partir de los niveles de potencia 7, 8, 9 y 10 alcanzando temperaturas de 131, 132,5, 129,2 y 134,6°F respectivamente.

Tabla 4.4. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 2 emulsionado al 5% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmitida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada130 (°F)	-	-	-	129,2	131	131	131	132,8	129,2	134,6
Tiempo al Cual se	-	-	-	390	290	190	170	150	130	110

alcanzo la Temperatura deseada (seg)										
Agua Separa (ml)	-	-	-	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Agua Separada (%)	-	-	-	60	80	80	100	100	100	100

En la figura 4.21 se muestra la coalescencia de agua en función de la potencia suministrada donde la coalescencia total de la muestra se logra a partir de la potencia 7 a una temperatura de 131°F.

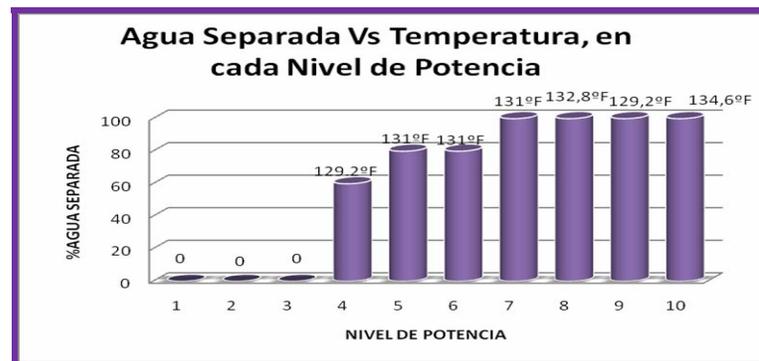


Figura 4.21. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 emulsionado al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas

De igual manera los tiempos de exposición de la muestra disminuyeron a medida que se incrementó el nivel de potencia. La potencia 4 logró separar 60% y la potencia 5 y 6 un 80%, el comportamiento de separación de fases ascendente para este crudo se traduce en un eficiente y eficaz método de deshidratación de acuerdo a la potencia transmitida. Estos resultados se pueden apreciar en la figura 4.22



Figura 4.22. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 al 5%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas

4.4.2.2. Análisis de resultados para el crudo 2 emulsionado al 10% de agua

El ensayo con la muestra 2 al 10% logro la máxima coalescencia 100% a partir de la potencia 7 con una temperatura de 129,2°F para mencionada potencia, los niveles de potencia 4 y 5 lograron coalescer 60% de agua y la potencia 6 un 70% evidenciando nuevamente que mientras se aumenta el nivel de potencia mayor es el porcentaje de agua separada. Estos resultados se pueden observar en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 2 emulsionado al 10% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmítida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada 130 (°F)	-	-	-	136,4	132,8	131	129,2	131	129,2	136,4

Tiempo al Cual se alcanzo la Temperatura deseada (Seg)	-	-	-	250	230	210	170	150	110	110
Agua Separada(ml)	-	-	-	0,6	0,6	0,7	1	1	1	1
Agua Separada (%)	-	-	-	60	60	70	100	100	100	100

En la figura 4.23 se puede ver que en la muestra a mayor nivel potencia se recolecta mayor volumen de agua separada, y la temperatura alcanzada en cada nivel de potencia.

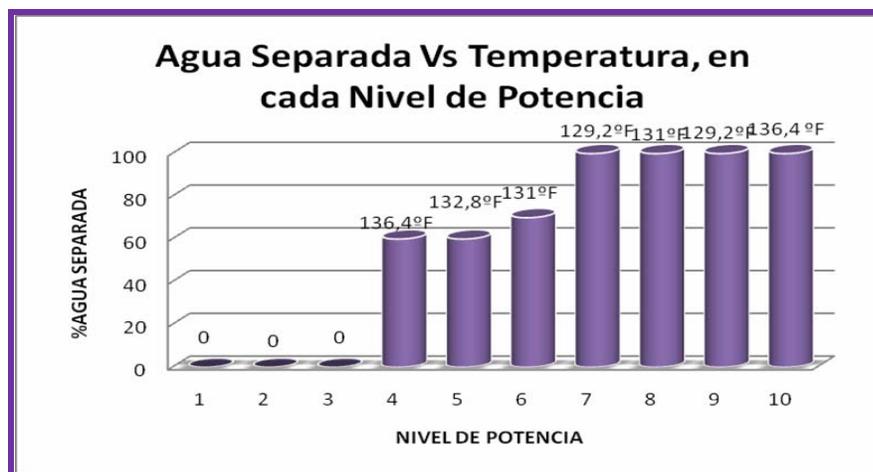


Figura 4.23. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas.

Esta muestra Presento de manera análoga el comportamiento que las muestras anteriores, lo que indica que a medida que se aumenta el nivel de potencia el volumen separado incrementa y el tiempo de exposición de la muestra disminuye, el menor tiempo de exposición de la muestra se logró en la potencia 9. figura 4.24

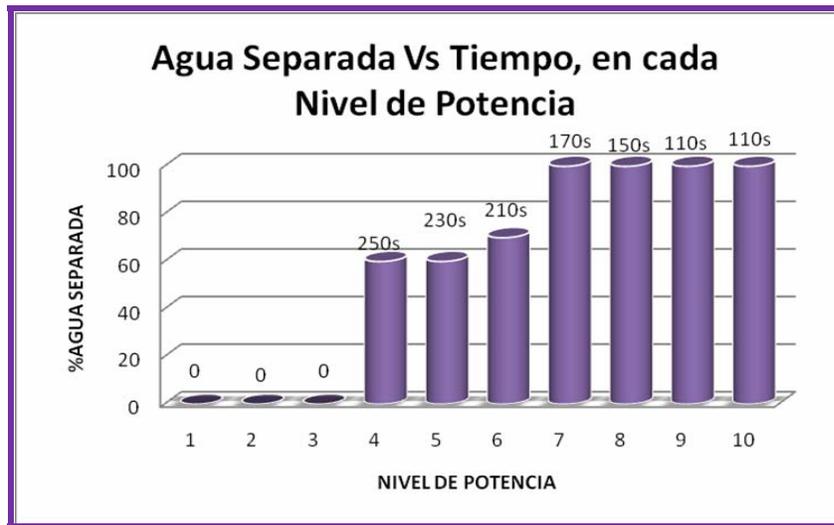


Figura 4.24. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 2 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas.

4.4.3. Estudio de la muestra 3

4.4.3.1. Análisis de resultados para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua

Para la muestra 3 al 5% la coalescencia máxima de agua (100%) se obtuvo a partir de la muestra 7 alcanzando una temperatura de 131 °F a un tiempo de 150 segundos, resaltando una vez más que de este nivel de potencia en adelante se obtiene mayor separación de fases por ende los niveles 7, 8, 9 y 10 permiten que la química deshidratante sean más eficiente y eficaz logrando así un buen proceso de deshidratación, lo niveles de potencia 4,5 y 6 lograron liberar porcentajes de agua considerables 60,80 y 80% respectivamente, estos resultados se evidencian en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmitida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada (°F)	-	-	-	129,2	131	133	131	131	131	132,8
Tiempo al Cual se alcanzo la Temperatura deseada (Seg)	-	-	-	510	290	190	150	130	90	70
Agua Separada (ml)	-	-	-	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Agua Separada (%)	-	-	-	60	80	80	100	100	100	100

En la figura 4.25 se señala las temperaturas que se alcanzaron en cada nivel de potencia y la separación de agua emulsionada que se logró con las mismas.

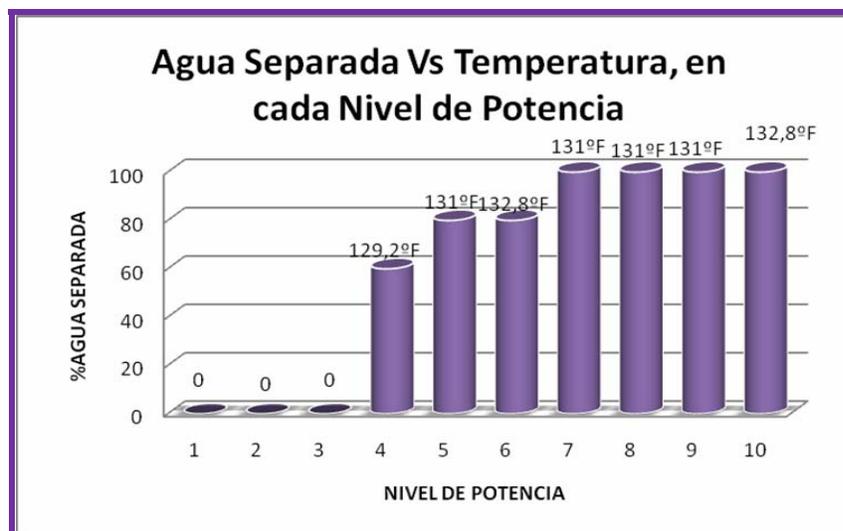


Figura 4.25. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3 emulsionado al 5%, mostrando las temperaturas alcanzadas

Los tiempos de exposición de la muestra a las ondas electromagnéticas para cada nivel de potencia se pueden observar en la figura 4.26. Donde el menor tiempo de exposición se obtuvo en la potencia 10.

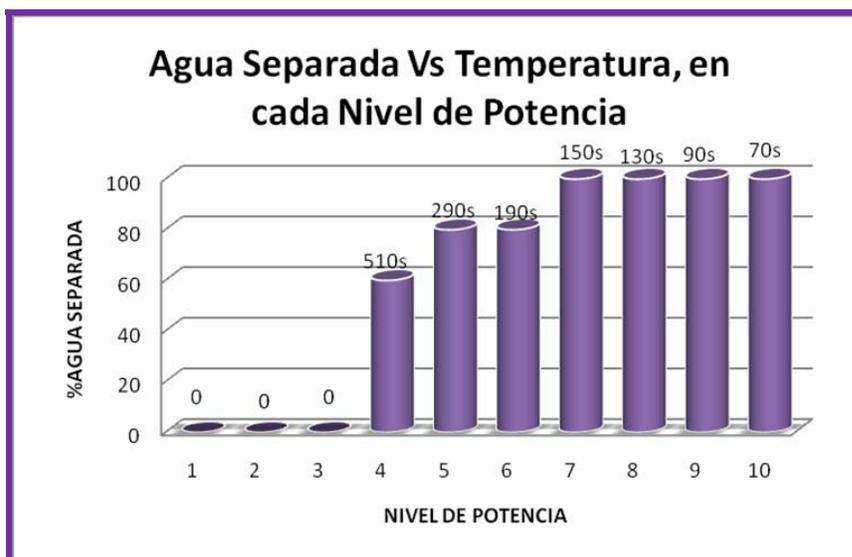


Figura 4.26. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas

4.4.3.2. Análisis de resultados para el crudo 3 emulsionado al 10% de agua

En la tabla 4.5 se aprecia que en la potencia 7,8, 9 y 10 se lograron el 100% de separación de agua alcanzando las temperaturas 132,8, 129,2, 136,4 y 132,8 °F respectivamente por ende, se puede indicar que a partir de esta potencia para esta muestra se observa la actuación de la química resulta eficiente y eficaz.

Tabla 4.7. Resultados de la prueba de radiación electromagnética para el crudo 3 emulsionado al 5% de agua

Nivel de Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia Transmitida (vatios)	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900

Energía Consumida (Vatios)	145	290	435	580	725	870	1.015	1.160	1.305	1.450
Temperatura Alcanzada130 (°F)	-	-	-	129,2	131	131	132,8	129,2	136,4	132,8
Tiempo al Cual se alcanzo la Temperatura deseada (Seg)	-	-	-	230	210	190	150	130	110	70
Agua Separada (ml)	-	-	-	0,6	0,6	0,6	1	1	1	1
Agua Separada (%)	-	-	-	60	60	60	100	100	100	100

En la figura 4.27 se muestran las temperaturas alcanzadas en cada nivel de potencia variable indispensable para promover la actuación del demulsificante y lograr la coalescencia del agua emulsionada.

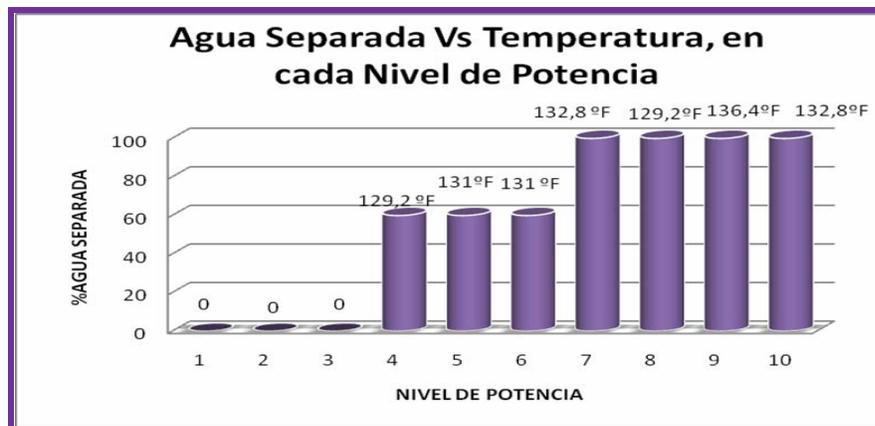


Figura 4.27. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3emulsionado al 10%, mostrando las temperaturas alcanzadas

En la muestra 3 al 10% al igual que las pruebas anteriores los intervalos de tiempo de exposición de la muestra a las ondas electromagnéticas fueron disminuyendo en este caso llegando a una temperatura de 70°F en el nivel de potencia 10 esto se puede ver en la figura 4.28



Figura 4.28. Agua Separada en cada nivel de potencia para el crudo 3 al 10%, mostrando el tiempo al cual se alcanzaron las temperaturas

De acuerdo al análisis realizado en todas las muestras la mayor deshidratación (100%) se logró a partir de la potencia 7 lo que indica que a partir de la misma el proceso es eficiente y eficaz, tomando en cuenta que las potencias menores se obtuvieron porcentajes considerables. Por tanto, el demulsificante B usado para la deshidratación por el método microondas arrojó resultados óptimos, donde el rápido aumento de temperatura generó una rápida separación de agua emulsionada.

4.5. Evaluar la eficacia de la deshidratación asistida con microondas en referencia al método tradicional (Prueba de Botella)

Para la evaluación de este objetivo se determinó la eficiencia y eficacia del demulsificante B con la concentración de (1ML) a la temperatura de 130°F, siendo 1ml el que arrojó mejor barrido de formulación en la prueba de ensayo y error (prueba de botella) y así comparar el proceso de deshidratación asistida por microondas en referencia al método tradicional.

En la tabla 4.7, se observa que para la muestra 1 emulsionada al 5% , la deshidratación por el método de la prueba de botella solo alcanzó coalescer 80% del agua dispersa en un tiempo de 160 minutos a la temperatura de 130°F, mientras que usando el método asistido por microondas se logró separar 100% del agua emulsionada en un tiempo de 2,5 minutos a una temperatura de 132.5°F mostrando una eficacia en tiempo de 104 veces mejor que prueba de botella. En el caso de la muestra 1 al 10% con fase dispersa, con el método de prueba de la botella se logró separar 100% del agua emulsionada a un tiempo de 250 minutos a la temperatura de 130 °F, mientras que con el método del microondas se obtuvo el mismo porcentaje en un tiempo de 2.2 minutos a la temperatura de 131 °F resultando este método 114 veces más eficaz que la prueba de botella.

Para la muestra 2 al 5% por el método de prueba de botella se obtuvo 100 % de separación de fases en 140 minutos a la temperatura de 130 °F y con el método de microonda se pudo separar 100% de agua con tiempos de exposición de la muestra de 2.83 a una temperatura de 131°F, logrando una eficacia 49 veces mejor que la prueba de botella. con respecto a la muestra emulsionada al 10% se evidenció una calescencia de 50% de agua en la prueba de botella en un tiempo de 240 minutos a una temperatura de 130°F, mientras que para la prueba de microondas se logro separar el 100% de agua emulsionada en 2.83 minutos a una temperatura de 129.2°F , reflejando una eficacia de 85 veces mejor que la prueba de botella.

Tabla 4.7. Comparación de la deshidratación asistida por microondas con el método de la prueba de botella

	Prueba de Botella		Prueba de Microondas		
	% Agua Separada	Tiempo (minutos)	% Agua Separada	Tiempo (minutos)	Eficacia
Muestra 1					
Emulsión 5%	80	260	100	2.5	104
Emulsión 10%	100	250	100	2.2	114
Muestra 2					
Emulsión 5%	100	140	100	2.83	49
Emulsión 10%	50	240	100	2.83	85
Muestra 3					
Emulsión 5%	100	90	100	2.5	36
Emulsión 10%	100	180	100	2.5	72

En el análisis de la muestra tres se tiene que por el método de la prueba de botella al 5 y 10% se obtuvo una coalescencia de 100% con tiempos de 90 minutos y 180 minutos respectivamente a una temperatura de 130 °F. Para el método asistido por microondas se observa que para ambas emulsiones se logra la separación total de fases 100% con un tiempo de exposición de 2,5 minutos a temperaturas de 131°F y 132,8 °F respectivamente, obteniéndose una eficacia de 36 veces mejor que la prueba de botella para la muestra al 5% y mejorando 76 veces el proceso de deshidratación para la muestra al 10% de agua emulsionada-

De acuerdo a lo analizado anteriormente, se puede decir de forma general que la deshidratación asistida por ondas electromagnéticas resulto técnicamente eficaz en comparación con el método convencional, en la tabla 4.7 se evidencia la disminución del tiempo de coalescencia de agua, estos resultados fueron los esperados según el

principio del microondas donde la inducción de las ondas electromagnéticas aceleran la vibración de las moléculas de agua lo que se traduce en un rápido aumento de temperatura facilitando la coalescencia.

CONCLUSIONES

1. Las muestras de crudos estaban previamente deshidratada con un contenido de agua y sedimento de 0% para la muestra 1 y 2 y 0,2 para la muestra 3.
2. La gravedad API fue 23, 26,1 y 24,8 para la muestra 1,2 y 3 respectivamente clasificando los crudos como medianos.
3. De acuerdo con el factor de caracterización “K”, los crudos estudiados son de base asfáltica.
4. El análisis de la espectrometría permitió seleccionar dos de siete demulsificante que se tenían inicialmente.
5. Los ensayos se dividieron en tres etapas, emulsificación agua-petróleo con medición de la estabilidad, determinación de la cantidad mínima de química deshidratante con la prueba de botella y calentamiento mediante radiación electromagnética con la mejor relación de química deshidratante.
6. Se seleccionó el demulsificante DB como el más eficiente en las tres muestras con 5 y 10% de fase dispersa, dosificado en 1 ml, ya que logró separar el 100% de agua emulsionada.
7. La deshidratación asistida por microondas consiguió separar el 100% del agua emulsionada en todas las muestras a partir de la potencia 7.

8. La muestra 1 al 5% por el método tradicional de botella solo separo 80% de la fase dispersa en 260 minutos, mientras que con el método de microonda se logró 100% de coalescencia de agua en 2.5 minutos al nivel de potencia 7.
9. La muestra 1 al 10% usando el método de la botella se obtuvo 100% de separación de agua emulsionada en un tiempo de 250 minutos y usando el método de microondas se consiguió el mismo porcentaje en 2.2 minutos.
10. La muestra 2 al 5% por el método de la prueba de botella coalesció 100% a 140 minutos y por el método de microondas se logró separar la misma cantidad a los 2,83 minutos al nivel de potencia 7.
11. La muestra 2 al 10% por el método de la prueba de botella solo coalesció 50% de agua en 240 minutos y usando el método de microondas se obtuvo una separación de 100% en 2.83 minutos a la potencia 7.
12. La muestra tres al 5 y 10% coalesció 100% de agua a los 90 y 180 minutos respectivamente, mientras que el método de microondas logró separar el mismo porcentaje para ambas emulsiones en 2.5 minutos a el nivel de potencia 7.
13. Aplicando el método de microondas se logró una eficacia de 104 y 114 veces mejor que la prueba de botella para la muestra 1 al 5% y al 10% de agua emulsionada.
14. El método de microondas mostró eficacia de 49 y 85 veces mejor que la prueba de botella para la muestra 2 al 5% y al 10% de agua emulsionada.
15. El método de microondas mostró eficacia de 36 y 76 veces mejor que la prueba de botella para la muestra 3 al 5% y al 10% de agua emulsionada.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de radiación electromagnética para comprobar su efectividad en cuanto a deshidratación se refiere para crudos, extra-pesados y livianos.
2. Hacer un estudio técnico económico para la implementación del método en estudio en campo como metodología de deshidratación.
3. Aplicar el método a muestras de crudos que hayan sido deshidratados sino que provengan directamente de boca de pozos.
4. Evaluar el comportamiento de la deshidratación de crudos asistidas por ondas electromagnéticas usando niveles de potencias mayores a 10 (900Wattios).
5. Desarrollar ensayos de prueba de la botella a tiempo mayores a 5 horas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Malaver, S. **“Evaluación del comportamiento de dos demulsificantes comerciales en crudos de distintos grados API”**. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería de Petróleo. Puerto la Cruz (2006).
2. Villarroel, I. **“Evaluación del sistema de deshidratación de crudo, mediante la incorporación de mejoras operacionales en la Estación de Flujo Muri”**. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería de Petróleo. Puerto la Cruz(2006)
3. Gonzales, A. y Salazar, R. **“Estudio de la factibilidad técnica de la deshidratación de crudos asistida por microondas”**. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería de Petróleo. Puerto la Cruz (2006).
4. Schramm L. **“Petroleum Emulsions”**, Basic Principies, American Chemical Society, (1992).
5. Manning R. **“Treatments and Process oil”**, (1992).
6. Rodríguez P., **“Tratamiento de Crudos”**. PDVSA, (2007)
7. Salager J. **“Reología y estabilidad de las emulsiones”**. Cuaderno FIRP S747-B de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela (1988)
8. Sánchez A., **“Manual de Tratamiento Químico y Térmico de Petróleo”**, INALSI, C.A., Cumaná, Venezuela, (2007).

9. Rojas O. **“Introducción a la reología”**. Cuaderno FIRP 520, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela (1988).
10. Conley R. T. Espectroscopia Infrarroja Ed. Alambra, España (1979).
11. Núñez O. **“Manual de deshidratación de crudos”**. Exploración y Producción, PDVSA, Maturín, Venezuela (1999)
12. **“Procesos de deshidratación”**. Taller de entrenamiento para el personal de la unidad de exploración Carito. PDVSA-Intevep, S.A., Los Teques, Venezuela (1999).
13. CIED. **“Tratamiento de crudo y aguas efluentes”**. Maracaibo, Venezuela (1996).
14. Salager, J y Fernández, A. “Cuaderno FIRP S300-A: **Surfactantes; tipos y usos**”. Módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela (2002).
15. Marfisi. S y Salager. J. L., **“Deshidratación de Crudos - Principios y Tecnologías”**, Cuaderno FIRP N° S853PP, Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes Mérida 5101 Venezuela, (mayo 2004).
16. Gonzáles J. **“Evaluación de la dispersión de agua salada en la demulsificación de crudos pesados bajo inyección de vapor”**. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Puerto la Cruz, Venezuela (1986).

17. Fichas Técnicas. **“Hornos Microondas”**. Mayo 2004.

18. Documentos Técnicos. **“Calor Electrónico y Principio de Funcionamiento de los Hornos Microondas”**. (sin fecha de publicación). <http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/dl.htm>

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	EVALUACIÓN DEL MÉTODO PARA DESHIDRATAR HIDROCARBUROS ASISTIDA POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN MUESTRAS DE CRUDOS MEDIANOS
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Chirinos Alcazar José Nazareth	CVLAC: 19.222.374 E MAIL: ingjosechirinos@gmail.com
Urbano Ruiz Yenire Josefina	CVLAC: 19.248.591 E MAIL: ingeniera_yenire@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

DESHIDRATAACION

CRUDOS MEDIANOS

ONDAS ELECTROMAGNETICAS

PROCESAMIENTO DE HIDROCARBURO

PRUEBAS DE LABORATORIO

EMULSIONES

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERÍA DE PETRÓLEO

RESUMEN (ABSTRACT):

Para el desarrollo de la investigación se dispuso de tres muestras de crudos a las cuales se procedió a analizar mediante las normas ASTM para la caracterización de fluidos, después de esto se procedió a emulsionar las muestras al 5 y 10% de fase dispersa a los cuales se les realizó la prueba de coalescencia finita (medición de estabilidad de la emulsión). Una vez comprobada la estabilidad de las emulsiones se realizaron una serie de pruebas repetitivas de ensayo y error, disponiendo cantidades de crudo emulsionado combinado con desmulsificante a concentración de 0,01, 0,1 y 1 ml de las cuales se seleccionó 1ml, que luego fueron llevadas a calentamiento inducido a través de un equipo transmisor de microondas, al realizar estas numerosas pruebas se prosiguió a efectuar análisis comparativos con respecto a los resultados arrojados mediante la prueba de la botella y los obtenidos a través de la implementación de este método. Lográndose así deshidratar crudo utilizando la asistencia de un equipo microondas, donde notablemente se obtuvieron resultados favorables donde se evidenció mayor eficiencia y eficacia en comparación con la prueba de botella. Donde la muestra 1 al 5% separó 80% de agua por método botella en 260 minutos y usando el método del microonda se obtuvo 100% de volumen de agua coalescido en un tiempo de 2.5 minutos representando una eficacia de 104 veces mayor que la prueba de botella, en el caso de 10% de agua emulsionada coalesció 100% de agua en 250 minutos por método de botella y 2.2 minutos aplicando ondas electromagnéticas obteniendo una eficacia de 114 veces mayor que la prueba de botella. Para la muestra 2 al 5% se logró un porcentaje de separación de 100% en 140 minutos por prueba de botella y 2.83 minutos por microondas con una eficacia 49 veces mayor que el método evaluado anteriormente, para el 10% solo se separó 50% en 240 minutos usando prueba de botella y 100% en 2.83 minutos empleando microondas logrando una eficacia de 85 veces mayor que la prueba de botella. La muestra 3 al 5 y 10% se separó 100% de agua emulsionada en tiempo de 90 y 80 minutos respectivamente para prueba de botella y 2.5 para microondas para ambas emulsiones, mejorando la eficacia en la deshidratación con ondas electromagnéticas 40 veces más que la prueba de botella. Evidenciándose una reducción del tiempo de deshidratación del crudo empleando las ondas electromagnéticas, generando así que técnicamente esta tecnología puede ser empleada a nivel de campo, lo que representaría un ahorro notable en tiempo y así poder manejar mayores volúmenes de crudo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL			
PATIÑO, RAYDA	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	11.833.699		
	E_MAIL	raydapatino@hotmail.com		
	E_MAIL			
RUIZ, SIMON	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:			
	E_MAIL	ruizsunited@cantv.com		
	E_MAIL			
GUERRA, OLY	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	3.733.796		
	E_MAIL	olyguerra1@hotmail.com		
	E_MAIL			
	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:			
	E_MAIL			
	E_MAIL			

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	11	07
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: ESPAÑOL

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Evaluación del Método para Deshidratar Hidrocarburos Asistida por Ondas Electromagnéticas en Muestras de Crudos Medianos.doc	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4
5 6 7 8 9.**

ALCANCE

ESPACIAL: _____

TEMPORAL: _____

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero de Petróleo

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela de Ingeniería y Cs. Aplicadas

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la universidad de oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

AUTOR

José Nazareth Chirinos Alcazar

AUTOR

Yenire Josefina Urbano Ruiz

TUTOR

Prof. Rayda Patiño

JURADO

Prof. Simon Ruiz

JURADO

Prof. Oly Guerra

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS

Prof. Rayda Patiño