

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS ASFALTENOS EN LA
ESTABILIDAD DE EMULSIONES DE AGUA EN ACEITE
SOMETIDAS A CAMPO ELÉCTRICO DC**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Guardia B., Julio C.
Para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS ASFALTENOS EN LA ESTABILIDAD DE EMULSIONES DE AGUA EN ACEITE SOMETIDAS A CAMPO ELÉCTRICO DC

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Carlos Morales
TUTOR INDUSTRIAL: Prof. Mario Alayón

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Guardia B., Julio C.
Para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo

Caracas, 2007

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia porque siempre creyó y tuvo fe en mí.

A mi abuela Erenia Belisario, gran mujer, fuerte e inspiradora.

A mi papá Julio Guardia, mamá Lituania Belisario y hermana Julibeth Guardia, los mejores seres.

Me lo dedico a mi mismo, porque mi vida es mi gran obra maestra matizada de humildes virtudes y hermosos defectos.

Celebro la vida con la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas que dio vida y salud. Al Dr. José Gregorio Hernández que me ha acompañado en mis luchas.

A mis padres que son el mejor ejemplo de amor y fortaleza conjugados. A mi hermana, compañera de aventuras infantiles. A mi abuela por ser una figura invaluable. A mis tíos y primos por ser ejemplo determinantes de cómo forjarse con trabajo y estudio.

A la casa que definitivamente vence las sombras, mi Universidad Central de Venezuela.

A mis tutores, Carlos y Mario que buen ejemplo ética, profesionalismo y orientación.

A Milagros Galeno, Maria Dolores Hernández y Luís Celi, por brindarme mas vida.

A mis compañeros y ejemplo del laboratorio de separaciones mecánicas: Armando De Almeida, William Puente, Melania Rebolledo, Maria Daniela Guerra, Joel Bauer, Yamileth Hidalgo, Claudia Garban, Nancy, Migdalis y las más apreciadas Yumaiti Ortega y Diana Hidalgo. Gracias por su ayuda y colaboración.

A mis soldaditas y alfiles de lucha que me ayudaron tanto: Iraida, Kisbeth y Leudis. Muchísimas Gracias.

A los profesores: Jose Ángel Sorrentino, Yeyo, Carlos Gil. A Rene Rojas y Armando Martinez. Gracias por su desinteresada colaboración y buena voluntad.

A mis amigos y compañeros de vida y lucha universitaria, (por orden cronológico): Carlos Angarita, Juan Minuta, Miguelito, Cecilio, Liliana, Jossari Vera, Zugey Madera, Leomar Lopez (my dar), Jesús Aponte, Lenin Izcaray, Humberto Hernandez, Richard Duarte, Gonzalo Betancourt, Hernan Semprum, Carlos Galindo, Juan Guerra, Maria Guaicara, Dayed Nuñez, Diego, Carolina Jaen, Rosa Espinoza, Vanesa Quero, Juan Mendez, Luisana De Armas, los quiero mucho a todos.

A mis mejores amigos, que compartieron conmigo y tienen muchos granos aportados en el éxito de mi vida, (por orden cronológico): Yosneidy Paredes, Herimar Morales, Carolina Planas, Cristina Planas, Omar Olavarria, Guille Yanes, Edgar Saez, Lissette Araujo, Del mar Katiuska, Domingo Soares, Ernesto Fidel, Andrés Quiñones, Alexis Pablo, y a los demás que por la premura no recuerdo pero no quiere decir que no los tenga presente.

Muchas Gracias y Dios los bendiga a todos.

Guardia. B., Julio C.

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS ASFALTENOS EN LA
ESTABILIDAD DE EMULSIONES DE AGUA EN ACEITE
SOMETIDAS A CAMPO ELÉCTRICO DC**

Tutor Académico: Prof. Carlos Morales. Tutor Industrial: Prof. Mario Alayón.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo.

Año 2007, n° pág. 90.

Palabras Claves: deshidratación electrostática de crudo, emulsiones w/o, asfaltenos, formulación de emulsiones, estabilidad de emulsiones.

Resumen:

Desde los inicios de la explotación petrolera, esta se ha tenido que enfrentar a la producción de crudo y agua en conjunto, lo que ocasiona la formación de emulsiones no deseadas. Entre las razones más importantes para eliminar el agua del crudo, ya sea agua libre o agua emulsionada destacan el aumento del costo de recuperación, transporte y bombeo, la corrosión en las instalaciones de transporte y de refinación, entre otras. La deshidratación del crudo es una de las principales operaciones para romper la emulsión y remover el agua de crudo. Esta operación básicamente contrarresta la acción de los agentes emulsificantes presentes en el crudo, desestabilizando y separando la emulsión. Estudios anteriores han comprobado que altas concentraciones de asfaltenos estabilizan las emulsiones de agua en crudo. Por otro lado, los coalescedores electrostáticos han probado ser un medio bien eficiente para la separación de emulsiones de tipo agua en aceite. Este trabajo intenta explicar el efecto de los asfaltenos sobre la estabilidad de una emulsión de agua en crudo sometida a una separación electrostática en el cual se espera cuantificar partiendo de una emulsión que ya sea estable sin asfaltenos, y saber cuanto más estable puede volverse por la presencia de asfaltenos, y si el campo eléctrico es

capaz o no de romper esa estabilidad. Se inició este trabajo a partir de una muestra base de crudo el cual se le hizo el tratamiento necesario para obtener los asfaltenos como materia prima para su próxima utilización en la preparación de emulsiones asfálticas de agua en aceite efecto del estudio. Este tratamiento constó en precipitación, extracción, y dilución de los asfaltenos presentes en la muestra. Se prepararon emulsiones de agua en aceite, que contienen agua destilada, parafina líquida, surfactantes, aromáticos y asfaltenos. Se realizó el montaje de celdas de observación que permitieron la caracterización y estudio de la emulsión preparada, bajo efecto del campo eléctrico al cual será sometida por un tiempo específico fijo y las variables que se manipularon fueron la magnitud del campo eléctrico (voltaje aplicado entre la separación de los electrodos que contendrá el montaje de dicho sistema de desestabilización) y la concentración de asfaltenos. Se obtuvo como resultados valores de voltaje y concentración de asfaltenos óptimos, así como variables de formulación óptimas. En general, los asfaltenos son agentes estabilizadores de emulsiones aun cuando se demostró que la aplicación de campo eléctrico tiene un efecto desestabilizador de emulsiones eficiente y acelerada.

ÍNDICE

| | Página |
|--|-----------|
| INTRODUCCION..... | 1 |
| CAPITULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION..... | 3 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS | |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 5 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 5 |
| CAPITULO II: MARCO TEORICO..... | 7 |
| 2.1. FOSAS PETROLERAS..... | 7 |
| 2.2. SURFACTANTES..... | 7 |
| 2.2.1. Anfífilo..... | 7 |
| 2.2.2. Definición..... | 9 |
| 2.2.3. Micelas..... | 9 |
| 2.2.4. Clasificación de los surfactantes..... | 10 |
| 2.2.5. Propiedades de los surfactantes..... | 11 |
| 2.2.5.1. Adsorción..... | 12 |
| 2.2.5.2. Asociación..... | 12 |
| 2.3. EMULSIONES..... | 13 |
| 2.3.1. Propiedades de las emulsiones..... | 16 |
| 2.3.2. Estabilidad de las emulsiones..... | 17 |
| 2.3.3. Medición de estabilidad de una emulsión..... | 18 |
| 2.3.4. Agentes emulsionantes..... | 20 |
| 2.3.5 Composición de una emulsión..... | 20 |
| 2.4. FORMULACION DE EMULSIONES..... | 22 |
| 2.4.1. Formulación fisicoquímica..... | 22 |
| 2.4.2. Balance Hidrofílico-Lipofílico..... | 22 |
| 2.4.3. Diagrama ternario de formulación..... | 24 |
| 2.4.4. Variables de formulación..... | 25 |
| 2.5. ASFALTENOS..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.5.1. Composición química de asfaltenos..... | 30 |
| 2.6. SEPARACION DE EMULSIONES Y DESHIDRATACION DE CRUDOS..... | 32 |
| 2.6.1. Separación de emulsiones..... | 32 |
| 2.6.2. Deshidratación de crudos..... | 34 |
| 2.7. DESHIDRATACION ELECTROSTATICA..... | 35 |
| 2.8. MICROSCOPIA OPTICA..... | 39 |
| CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO..... | 40 |
| 3.1. EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DE ASFALTENOS | 40 |
| 3.1.1. Determinación de la gravedad API..... | 41 |
| 3.1.2. Determinación del porcentaje promedio en peso de asfaltenos de acuerdo a la información recopilada..... | 41 |
| 3.1.3. Extracción de asfaltenos. Descripción de equipos y procedimiento | 42 |
| 3.1.3.1. Extracción de asfaltenos. Descripción de equipos..... | 42 |
| 3.1.3.2. Extracción de asfaltenos. Procedimiento..... | 43 |
| 3.1.4. Determinación del porcentaje en peso de asfaltenos experimentalmente..... | 47 |
| 3.1.5. Dilución de asfaltenos..... | 47 |
| 3.2. FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE EMULSIONES ESTABLES AGUA EN ACEITE..... | 48 |
| 3.2.1. Protocolo para la preparación de emulsiones sintéticas agua en aceite..... | 48 |
| 3.2.2. Determinación de la composición de la mezcla de surfactantes no iónicos. Barrido de HLB..... | 50 |
| 3.2.3. Demostración de la separación de fases de la emulsión preparada por medio de la segregación gravitacional..... | 50 |
| 3.2.4. Determinación de la equivalencia en tiempo de la desestabilización natural (gravitacional) y la desestabilización centrifugada de emulsiones limpias (sin asfaltenos) | 51 |
| 3.2.5. Estudio de comparación entre la desestabilización centrifugada de emulsiones limpias (sin asfaltenos) y emulsiones asfaltenicas..... | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3. DESESTABILIZACIÓN ELECTROESTÁTICA DE EMULSIONES..... | 52 |
| 3.3.1. Desestabilización electrostática. Descripción de Equipos..... | 53 |
| 3.3.1.1. Celda de deshidratación electrostática..... | 53 |
| 3.3.1.2. Fuente de poder de alto voltaje variable..... | 54 |
| 3.3.2. Estudio de la variación de voltaje (barrido de voltaje) en la aplicación de campo eléctrico a emulsiones limpias (sin asfaltenos). Determinación de voltaje óptimo..... | 55 |
| 3.3.3. Estudio de la variación de contenido de asfaltenos (barrido de asfaltenos) a un voltaje constante..... | 57 |
| 3.3.4. Estudio de variación de voltaje (barrido de voltaje) para un contenido de asfaltenos constante..... | 58 |
| 3.4. MICROSCOPIA ÓPTICA ASISTIDA POR VIDEO..... | 59 |
| CAPITULO IV: ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS..... | 60 |
| 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE CRUDO..... | 60 |
| 4.1.1. Gravedad API..... | 60 |
| 4.1.2. Determinación del porcentaje promedio en peso de asfaltenos de acuerdo a la información recopilada..... | 61 |
| 4.1.3. Determinación del porcentaje en peso de asfaltenos experimentalmente..... | 61 |
| 4.2. PRUEBAS DE DILUCIÓN DE ASFALTENOS..... | 61 |
| 4.2.1. Prueba 1: Agitación manual..... | 62 |
| 4.2.2. Prueba 2: Agitación asistida por agitador mecánico de aspas..... | 62 |
| 4.2.3. Prueba 3: Agitación asistida por agitador magnético..... | 63 |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE SURFACTANTES NO IÓNICOS. BARRIDO DE HLB..... | 65 |
| 4.4. COMPARACIÓN DE SEPARACIÓN DE FASES POR CENTRIFUGACIÓN PARA EMULSIONES AL 30% AGUA Y AL 50% AGUA ... | 66 |
| 4.5. FORMULACIÓN FINAL DE EMULSIONES SELECCIONADA ... | 67 |
| 4.6. DEMOSTRACIÓN DE LA SEPARACIÓN DE FASES DE LA EMULSIÓN PREPARADA POR MEDIO DE LA SEGREGACIÓN | |

| | |
|--|------------|
| GRAVITACIONAL..... | 68 |
| 4.7. DETERMINACIÓN DE LA EQUIVALENCIA EN TIEMPO DE LA DESESTABILIZACIÓN NATURAL (GRAVITACIONAL) Y LA DESESTABILIZACIÓN CENTRIFUGADA DE EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS)..... | 70 |
| 4.8. ESTUDIO DE COMPARACIÓN ENTRE LA DESESTABILIZACIÓN CENTRIFUGADA DE EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS) Y EMULSIONES ASFALTÉNICAS..... | 72 |
| 4.9. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE VOLTAJE EN LA APLICACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO A EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS). DETERMINACIÓN DE VOLTAJE ÓPTIMO..... | 74 |
| 4.10. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE CONTENIDO DE ASFALTENOS (BARRIDO DE ASFALTENOS) A UN VOLTAJE CONSTANTE | 80 |
| 4.11. ESTUDIO DE VARIACIÓN DE VOLTAJE (BARRIDO DE VOLTAJE) PARA UN CONTENIDO DE ASFALTENOS CONSTANTE . | 82 |
| CONCLUSIONES..... | 85 |
| RECOMENDACIONES..... | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 88 |
| APÉNDICES..... | 91 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | 103 |
| ANEXOS..... | 110 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pagina |
|---|--------|
| Figura 1. Partes de un anffilo..... | 8 |
| Figura 2. Capa superficial de un tensoactivo sobre una superficie de agua. | 9 |
| Figura 3. Estructura de una micela..... | 10 |
| Figura 4. Diferentes estructuras producidas por la asociación de surfactantes..... | 13 |
| Figura 5. Microfotografía de una emulsión agua en aceite..... | 14 |
| Figura 6. Tipos de emulsión..... | 15 |
| Figura 7. Zonas presentes en la desestabilización de emulsiones..... | 17 |
| Figura 8. Fracción de volumen de aceite coalescido o clarificado en función del tiempo | 19 |
| Figura 9. HLB requerido para emulsiones W/O y O/W..... | 24 |
| Figura 10. Diagrama ternario: zona de emulsiones..... | 25 |
| Figura 11. Relación entre la R de Winsor, SAD y la formulación..... | 29 |
| Figura 12. Representación del fenómeno de coalescencia eléctrica de gotas de agua A y B..... | 37 |
| Figura 13. Movimiento de una gota de agua entre dos electrodos de polaridad dual..... | 38 |
| Figura 14. Prediluciones A y B en baño de ultrasonido..... | 43 |
| Figura 15. Sistemas de dilución C y D, proporción 1gr crudo/30ml de n-heptano..... | 44 |
| Figura 16. Almacenamiento de tres sistemas de dilución 1/30 volumen de crudo/n-heptano en refrigerador..... | 45 |
| Figura 17. Equipo de filtración al vacío..... | 46 |
| Figura 18. Resultado del proceso de extracción de asfaltenos..... | 46 |
| Figura 19. Mezclador manual BRAUN MR 5550..... | 49 |
| Figura 20. Prueba simple de calidad de la preparación de la emulsión..... | 50 |
| Figura 21. Componentes de la celda de deshidratación electrostática..... | 54 |
| Figura 22. Celdas Calibradas..... | 54 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 23. Fuente de poder usado para la aplicación de campo eléctrico DC..... | 55 |
| Figura 24. Extracto de tabla 5A6A de la norma A.S.T.M. D1250..... | 60 |
| Figura 25. Dilución usando un agitador mecánico de aspas..... | 62 |
| Figura 26. Dilución usando un agitador magnético..... | 63 |
| Figura 27. Gráfico del porcentaje de la fase oleosa separada para diferentes HLB, obtenidos de la centrifugación de emulsiones 50% de agua, 28% 48% de fase orgánica, y 2% de mezcla de surfactantes no iónicos (Span 80 y Arkopal N-100)..... | 66 |
| Figura 28. Aumento de la fase oleosa por segregación gravitacional, a través del tiempo..... | 69 |
| Figura 29. Reducción de la fase emulsión por segregación gravitacional a través del tiempo..... | 69 |
| Figura 30. Tendencia de la separación de la fase oleosa de una emulsión limpia (sin asfaltenos al 30% de agua y un HLB=5,92 a través del tiempo...) | 71 |
| Figura 31. Comportamiento de la fase oleosa separada por centrifugación en función de la concentración de asfaltenos | 73 |
| Figura 32. Fases oleosas separadas en emulsiones con diferentes concentraciones de asfaltenos. De izquierda a derecha: 0 mg asf/ml tol, 40 mg asf/ml tol, 80 mg asf/ml tol y 120 mg asf/ml tol..... | 74 |
| Figura 33. Gráfico de separación de fase acuosa de emulsiones limpias a través del tiempo con aplicación de campo eléctrico DC a diferentes voltajes..... | 75 |
| Figura 34. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones limpias a través del tiempo con aplicación de campo eléctrico a diferentes voltajes... | 75 |
| Figura 35. Montaje experimental del equipo de deshidratación electrostática..... | 78 |
| Figura 36. Gotas de agua suspendidas mientras es aplicado campo eléctrico..... | 79 |
| Figura 37. Emulsión separada en sus fases componentes, luego de la aplicación de campo eléctrico..... | 79 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 38. Gráfico del comportamiento de separación de fase acuosa de emulsiones asfálticas de concentración variable en función del tiempo aplicando campo eléctrico constante (2,8kv) | 80 |
| Figura 39. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones asfálticas de concentración variable con aplicación de campo eléctrico DC constante (2,8 kv)..... | 81 |
| Figura 40. Montaje experimental del equipo de deshidratación electrostática en emulsiones asfálticas..... | 82 |
| Figura 41. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones asfálticas con una concentración constante (40mg asf/ml tol) aplicando diferentes voltajes..... | 83 |
| Figura 42. Emulsión asfáltica con fase oleosa clarificada luego de la aplicación de campo eléctrico..... | 84 |

INDICE DE TABLAS

| | Pagina |
|---|---------------|
| Tabla 1. Propiedades de las emulsiones..... | 16 |
| Tabla 2. Rango de HLB y su aplicación..... | 23 |
| Tabla 3. Características de la muestra de crudo seleccionada..... | 41 |
| Tabla 4. Modelo de tabla registro de la separación todas las fases a través del tiempo por segregación gravitacional..... | 51 |
| Tabla 5. Modelo de tabla de reporte de la separación de fases oleosa y acuosa a través del tiempo por segregación gravitacional..... | 51 |
| Tabla 6. Modelo de tabla de reporte de la separación de fases oleosa y acuosa por medio de centrifugación..... | 52 |
| Tabla 7. Modelo de tabla de reporte de porcentaje de separación de agua | 55 |
| Tabla 8. Modelo de tabla de reporte de porcentaje de separación de fase oleosa..... | 56 |
| Tabla 9. Modelo de tabla de reporte del cambio de temperatura al inicio y fin de la aplicación de campo eléctrico..... | 56 |
| Tabla 10. Modelo de tabla de reporte de la separación de fase oleosa para cada voltaje aplicado..... | 56 |
| Tabla 11. Modelo de tabla de reporte de la separación de fase oleosa para diferentes concentraciones de asfaltenos..... | 58 |
| Tabla 12. Equivalencia de concentraciones de asfaltenos disueltos en tolueno..... | 64 |
| Tabla 13. Diferentes proporciones de surfactantes y sus respectivos HLB..... | 65 |
| Tabla 14. Resultados de separación de la fase acuosa para diferentes | 65 |

| | |
|---|-----------|
| HLB por medio de la centrifugación..... | |
| Tabla 15. Formulación de emulsiones para fracciones de agua al 30% y al 50%..... | 67 |
| Tabla 16. Resultados de separación de fases para diferentes fracciones de agua por medio de la centrifugación..... | 67 |
| Tabla 17. Formulación final seleccionada y resultado de la centrifugación..... | 68 |
| Tabla 18. Reporte de la separación de fases oleosa y acuosa a través del tiempo por segregación gravitacional..... | 70 |
| Tabla 19. Reporte de la separación de fases oleosa y acuosa por medio de centrifugación..... | 70 |
| Tabla 20. Comparación del volumen de fase oleosa separado por centrifugación entre emulsiones limpia y asfálticas..... | 72 |
| Tabla 21. Resultado para la determinación del voltaje óptimo..... | 77 |
| Tabla 22. Reporte de la variación de temperatura durante la aplicación del campo eléctrico..... | 78 |

NOMENCLATURA

| Símbolo | Definición | Unidades S.I. |
|---------------------------|--|----------------------|
| Π_M | Propiedad fisicoquímica de la mezcla | - |
| Π_i | Propiedad fisicoquímica de la especie i | - |
| x_i | Fracción composicional de la especie i | Adimensional |
| HLB_M | Balance hidrofílico-lipofílico de la mezcla | Adimensional |
| HLB_i | Balance hidrofílico-lipofílico de la especie i | Adimensional |
| PM_{OE} | Peso molecular de la cadena polióxido de etileno | g/mol |
| PM_T | Peso molecular total | g/mol |
| R | Relación de Winsor | Adimensional |
| A_{CO} | Interacción ente el surfactante y el aceite | - |
| A_{CW} | Interacción ente el surfactante y la fase acuosa | - |
| SAD | Diferencia de afinidad del surfactante | J/mol |
| μ_o^* | Potencial químico estándar del surfactante en el aceite | J/mol |
| μ_w^* | Potencial químico estándar del surfactante en el agua | J/mol |
| RT | Producto de la constante de gas ideal y la temperatura | J/mol |
| σ, α, K y k | Parámetros que se relacionan con la cadena lipofílica del surfactante | Adimensional |
| EACN | Numero de carbono del n-alcano equivalente | Adimensional |
| f(A) | Función que depende del tipo de alcohol | Adimensional |
| a_T, c_T | Constantes de la temperatura | K ⁻¹ |
| ΔT | Diferencia de temperatura del sistema referido a la temperatura ambiente | K |
| EON | Numero de óxidos de etileno | Adimensional |
| b | Constante de salinidad según el tipo de electrolito | |
| S | Salinidad de la fase acuosa | |
| V_s | Velocidad de sedimentación de Stokes. | cm/s |
| V_H | Velocidad de sedimentación de Hadamard. | cm/s |
| P1 | Densidad del agua. | g/cm ³ |
| P2 | Densidad del crudo. | g/cm ³ |
| r | Radio de las gotas de agua dispersas en el crudo | cm |
| η_e | Viscosidad de la fase externa | cp |
| η_i | Viscosidad de la fase interna | cp |

INTRODUCCIÓN

Las etapas de separación son parte fundamental en el proceso de producción petrolera dándole el valor agregado al producto final. En este proceso, el crudo de pozo proviene primeramente con un contenido de agua y sólidos que son indeseables para los posteriores procesos de manejo de fluidos, tratamiento, refinación y comercialización. Este contenido de agua se puede presentar como emulsiones de agua en aceite, las cuales pueden estar estabilizadas por agentes naturales como asfaltenos y resinas presentes en el crudo. De esta manera dentro del proceso de producción petrolera existen sistemas emulsionados que están presentes en las denominadas fosas de desechos, las cuales poseen grandes cantidades de sólidos y agua, encontrándose expuestas al medio ambiente, (Padrón y Zúñiga, 2005). La industria petrolera ha insistido continuamente en la necesidad de tratar las emulsiones de crudo y agua para separar la mayor cantidad de agua posible, con la finalidad de recuperar el petróleo de acuerdo a las especificaciones del mercado, además de intentar resolver el problema ambiental ocasionado.

Para cubrir esta necesidad de recuperar el crudo emulsionado y el saneamiento ambiental existen procesos alternativos de separación o de deshidratación de crudo, diferenciándose entre ellos de acuerdo al uso de medios químicos, gravitacionales, mecánicos, térmicos, electrostáticos o alguna combinación de ellos. El medio propuesto en este proyecto es el electrostático ya que de esta manera se procura encontrar alternativas para la separación de las fases de las emulsiones minimizando el uso de demulsificantes químicos y reduciendo los costos de separación, además que los coalescedores electrostáticos han probado ser un medio bien eficiente para la separación de emulsiones de tipo agua en aceite, (Eow y Ghadiri, 2002).

Si bien estudios recientes apuntan hacia el uso de la deshidratación electrostática como uno de los medios o tecnologías mas eficientes desde el punto de vista energético para

la separación de emulsiones agua en crudo, el desarrollo de esta tecnología se ha focalizado hacia el diseño de nuevos equipos cada vez mas compactos, (Eow y Ghadiri, 2002), y poco se ha hecho en la búsqueda del fundamento y del mecanismo del cual ocurre la separación. De aquí que se justifica la necesidad de desarrollar este tipo de investigaciones, en particular hacia los asfaltenos dado que actúan como surfactantes naturales de alto peso molecular que funcionan como agentes emulsionantes en el crudo. De esta manera se espera que se complemente el campo de conocimiento de la deshidratación electrostática y su aplicabilidad.

Este trabajo tiene dentro de sus alcances explicar el efecto de los asfaltenos sobre la estabilidad de una emulsión de agua en crudo asfáltica sometida a una separación electrostática, visualizando los fenómenos y mecanismos involucrados. La efectividad de la técnica para la desestabilización de emulsiones será medida en términos de la cantidad de agua coalescida o aceite clarificado según convenga. Además se cuantificará partiendo de una emulsión que ya sea estable sin asfaltenos, y saber cuanto mas estable puede volverse por la presencia de estos, y si el campo eléctrico es capaz o no de romper esa estabilidad. Se pretende también que este estudio contribuya a seleccionar a cual tipo de crudo podría serle más efectiva la deshidratación electrostática de acuerdo al contenido de asfaltenos.

El desarrollo de este proyecto pertenece a una línea de investigación que se ha venido realizando en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela desde el 2005, dedicada al estudio de la estabilidad y separación de las fases presentes en emulsiones de agua en aceite bajo efecto de un campo eléctrico, con la intención de conocer mas acerca de los fenómenos involucrados en el proceso de desestabilización y deshidratación de emulsiones provenientes de la producción de crudos; y está dentro del marco del trabajo Doctoral del Prof. Carlos Morales en la Universidad Técnica de Cottbus en Alemania y en cooperación con la Universidad Central de Venezuela.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En nuestro país existen alrededor de 12 mil fosas de producción, las cuales contienen aproximadamente 9 millones de barriles de petróleo. Por lo tanto, el desarrollo de investigaciones que generen respuestas tecnológicas para la recuperación de dicho crudo presenta beneficios ambientales y económicos que en la actualidad resultan particularmente atractivos debido al precio del crudo en el mercado internacional. Hasta el momento ninguna técnica ha dado buenos resultados por la complejidad composicional de las fosas, y este trabajo si bien no resolverá el problema, proveerá información relacionada.

En la industria petrolera es ampliamente conocido que desde los inicios de la explotación petrolera, esta se ha tenido que enfrentar a la producción de crudo y agua en conjunto, lo que ocasiona la formación de emulsiones no deseadas. En la actualidad, dos terceras partes de la producción mundial de crudo se obtiene en forma de emulsión, que necesariamente debe de ser tratada. Durante el proceso de producción, el agua salada fluye con el aceite en forma de baches o como pequeñas gotas dispersas en forma estable en la masa del aceite. Las causas comunes de formación de emulsiones son: sustancias extrañas en el fondo del pozo (acidificación y fracturación), bombas defectuosas, fugas en el revestidor o en la tubería de producción, gas en la tubería de producción, válvulas de alivio, transporte en línea, codos, etc. Al pasar por todo el aparataje de producción durante el levantamiento y el transporte en superficie (bombas, válvulas, codos, restricciones, etc.) se produce la agitación suficiente para que el agua se disperse en el crudo en forma de una emulsión W/O, con un diámetro de gota entre

0,1 a 100 μm y sea estabilizada por las especies de actividad interfacial presentes en el crudo (Marfisi, 2004). Se debe de tomar en cuenta que la inyección de vapor y de agua como métodos de recuperación secundaria promueve la formación de estas emulsiones. Entre las razones más importantes para eliminar el agua del crudo, ya sea agua libre o agua emulsionada destacan el aumento del costo de recuperación, de transporte y de bombeo, la corrosión en las instalaciones de transporte y de refinación, entre otras.

En Venezuela, existen procesos industriales de producción petrolera que aplican campos eléctricos a crudos provenientes directamente de los pozos, mas no a residuo de fosas de producción petrolera. Los residuos de fosas de producción petrolera están conformados por una mezcla de crudo, agua y sólidos que forman emulsiones y suspensiones considerablemente estables. El profundo impacto ambiental de estas emulsiones trae consigo la necesidad de desarrollar tecnologías de saneamiento, pensando en la recuperación de las tierras ocupadas por estas fosas, así como de la fase crudo para su siguiente utilización y aprovechamiento.

La deshidratación del crudo es una de las principales operaciones para romper la emulsión y remover el agua de crudo. Esta operación básicamente contrarresta la acción de los agentes emulsificantes presentes en el crudo, desestabilizando y separando la emulsión. Entre estos agentes emulsificantes se mencionan asfaltenos, resinas, ácidos nafténicos, mercaptanos, sólidos, etc. A pesar de lo difícil que ha sido a través de los años describir a los asfaltenos químicamente, se puede decir que altas concentraciones de asfaltenos estabilizan las emulsiones de agua en crudo, cuestión que agrava la situación que se plantea, (Yang, 2001).

Bajo estas premisas se pretende elaborar un estudio que acerque más al entendimiento del efecto estabilizador que tienen los asfaltenos y de la aplicabilidad del proceso de deshidratación electrostática para la ruptura de emulsiones de agua y aceite estabilizadas por estas moléculas.

1.2. OBJETIVOS.

A continuación se presentan los objetivos que se pretenden alcanzar por medio de la realización de este Trabajo Especial de Grado.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el efecto que tiene la presencia de asfaltenos en la estabilidad de una emulsión sintética de agua en aceite sometida a un campo eléctrico.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Establecer los antecedentes, fundamentos prácticos y teóricos que definirán la base de conocimientos que apoye la realización del proyecto.
- Realizar y describir los montajes experimentales necesarios para el desarrollo del proyecto.
- Proceder a la extracción de asfaltenos de una muestra de crudo previamente deshidratada, para usarlos como materia prima de las próximas emulsiones sintéticas de crudo.
- Preparar emulsiones de agua en aceite estables que contengan diferentes contenido de asfaltenos de acuerdo a los estudios que serán realizados.
- Determinar el efecto de la intensidad del campo eléctrico sobre la estabilidad de la emulsión sintética a preparar.
- Cuantificar el grado de deshidratación o desestabilización de las emulsiones en función del potencial aplicado.
- Operar el sistema de microscopía óptica asistida por video con el fin de identificar efectos y mecanismos de coalescencia.
- Establecer una comparación entre el efecto de la deshidratación electrostática en una emulsión de agua en aceite con contenido de asfaltenos y una emulsión sin asfaltenos.

- Establecer un rango de aplicabilidad para la deshidratación electrostática de acuerdo al contenido de asfaltenos en el crudo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. FOSAS PETROLERAS

Las fosas son depósitos de hidrocarburos, agua y sedimentos conformados en su mayoría por desechos de perforación y producción de las áreas operacionales de PDVSA. Se encuentran ubicadas cerca de las estaciones de producción en donde se almacena el crudo fuera de especificaciones. Algunas fosas de producción son de gran tamaño, en éstas se encuentra depositado un volumen considerable de crudo recuperable, estas son llamadas macrofosas de producción y son excavaciones en el suelo construidas con muros de contención, donde en el pasado se almacenaba agua salada, procedente de los procesos de deshidratación del crudo; estas fosas contienen una capa de crudo, o crudo emulsionado que es recuperable. En el caso de pozos petroleros, en los cuales se generan cortes de suelos, rípios y efluentes líquidos que, por lo general, son acumulados en fosas abiertas a la atmósfera en las cercanías del pozo, estas se conocen como fosas de producción (Padrón y Zúñiga, 2005).

2.2. SURFACTANTES

2.2.1. Anfífilo

El termino anfífilo ha sido construida por Paul Winsor a partir de dos raíces griegas. De una parte el prefijo "amphi", que significa de ambos lados, doblemente o alrededor. Por otra parte la raíz "philos" que significa amigo de, como en hidrófilo (amigo del agua). Una sustancia anfífila tiene una doble afinidad, la cual se define desde el punto de vista físico-químico como una doble característica a la vez polar y apolar.

Típicamente un anfífilo tiene una molécula que se puede dividir en dos partes, como se puede observar en la Figura 1. De un lado una parte polar que contiene heteroátomos

tales como Oxígeno(O), Azufre (S), Nitrógeno (N), Fósforo (P), los cuales aparecen en grupos funcionales como alcohol, tiol, éter, éster, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, etc., y de otra parte, un grupo apolar compuesto en general por un hidrocarburo parafínico, cicloparafínico o aromático, el cual puede eventualmente contener halógenos.

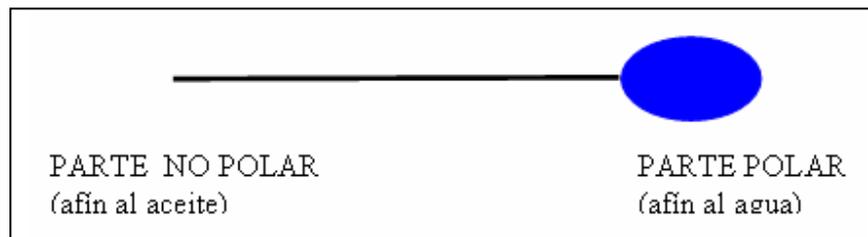


Figura 1. Partes de un anfífilo (Rebolledo, 2007)

La parte polar tiene afinidad para los solventes polares, particularmente el agua, mientras que la parte apolar tiene afinidad para los solventes orgánicos, en particular los hidrocarburos, aceites o grasas, o simplemente es repelida por el agua.

Por esta razón la parte polar se denomina también hidrofílica, mientras que a la parte apolar le corresponde el calificativo de lipofílico o hidrófobo. (Salager y Fernández, 2004).

Debido a su doble afinidad, una molécula anfífila no se encuentra “cómoda” en un solvente polar ni en un solvente orgánico. Para satisfacer ambos tipos de afinidades, el grupo polar debe estar solvatado por un solvente polar, mientras el grupo apolar debe encontrarse en un solvente orgánico, o por lo menos fuera del solvente polar. Tales condiciones ocurren solamente en la frontera de dos fases. Se llamará interfase a la frontera entre dos fases condensadas, es decir dos líquidos, o un líquido y un sólido. (Puente, 2007).

2.2.2. Definición

Como las sustancias anfífilas tienen una fuerte tendencia a migrar hacia una superficie o interfase, se han denominado también Surfactantes como contracción de las palabras inglesas “surface-active substances”. Los surfactantes son susceptibles de compatibilizar el agua con los aceites, permitiendo la formación de estructuras que asocian agua y aceite en una sola fase, llamada solución micelar u otra según el caso. (Salager y Fernández, 2004).

Los surfactantes también llamados tensoactivos son entonces sustancias que influyen por medio de la tensión superficial o interfacial en la superficie o interfase de contacto entre dos fases (por ejemplo dos líquidos insolubles uno en otro).

2.2.3. Micelas

Al contacto con el agua las moléculas anfífilas individuales se orientan de tal modo que la parte hidrófoba sobresale del nivel del agua encarándose al aire o bien se juntan con las partes hidrófobas de otras moléculas formando conglomerados (burbujas o gotas) en que las partes hidrófobas quedan en el centro, y los restos solubles en agua quedan entonces en la periferia disueltos en el agua. Estas estructuras se denominan micelas. En la Figura 2 se puede observar un arreglo lineal de moléculas anfífilas.

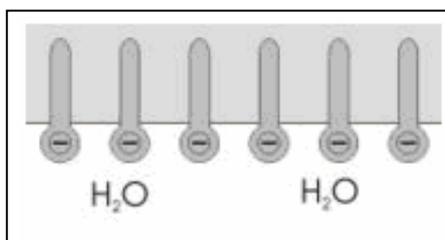


Figura 2 .Capa superficial de un tensoactivo sobre una superficie de agua (fuente: www.wikipedia.com, etiqueta: tensoactivo, 2007)

Se denomina micela entonces al conglomerado de moléculas que constituye una de las fases de los coloides. En la formación de micelas, los lípidos polares en disolución acuosa diluida se dispersan. En éstas las cadenas hidrocarbonadas se ocultan del entorno acuoso y forman una fase hidrófoba interna, con los grupos hidrófilos expuestos en la superficie, como se puede observar en la Figura 3.

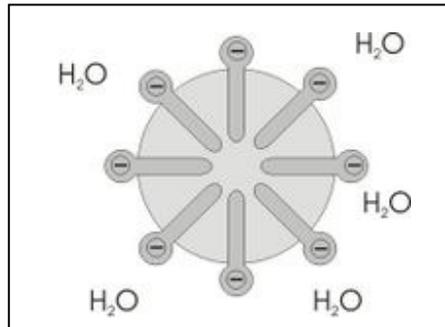


Figura 3. Estructura de una Micela (fuente: www.wikipedia.com, etiqueta: tensoactivo, 2007)

2.2.4. Clasificación de los surfactantes

Los surfactantes se clasifican de acuerdo a su tipo de molécula, más particularmente en base al tipo de disociación de su molécula en solución; de esta manera se diferencian los siguientes:

- a) Surfactantes aniónicos: aquellos que en solución acuosa se disocian en un anión anfífilo y un catión metálico o amonio. A este tipo pertenecen los surfactantes de mayor producción: detergentes como alquilbenceno sulfonatos, jabones o sales de ácidos carboxílicos grasos, espumantes. (Salager y Fernández, 2004).
- b) Surfactantes no iónicos: En solución acuosa no se ionizan es decir, no forman iones, ya que su parte hidrofílica está formado por grupos polares no ionizados como: alcohol, tiol, éter o éster. Una gran parte de estos surfactantes son alcoholes o fenoles etoxilados (lavaplatos, champúes). Los surfactantes no iónicos son en general buenos detergentes humectantes y emulsionantes. (Salager, Fernández y Scorzza, 2004).

- c) **Surfactantes catiónicos:** Son aquellos que se disocian en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente de tipo halogenado. Estos surfactantes se usan solamente en aplicaciones especiales donde la carga positiva del anfífilo produce ventajas como en enjuagues o emulsiones asfálticas. En general no son buenos detergentes, y tampoco buenos espumantes. Sin embargo mucho de estos compuestos presentan una excelente actividad bactericida, fungicida y algicida. (Salager y Fernández, 2004).
- d) **Surfactantes anfoteritos:** surgen de la combinación en la misma molécula de un grupo con tendencia aniónica y de un grupo con tendencia catiónica, por ejemplo los aminoácidos o los fosfolípidos. Según el ph del medio una de las dos disociaciones prevalece. Este tipo de surfactante se usa sólo en casos particulares debido a su alto costo. (Salager y Fernández, 2004).
- e) **Otros surfactantes:** surfactantes poliméricos, (producidos asociando estructuras polimerizadas de tipo hidrofílico o lipofílico, en forma de bloques o de injertos. Surfactantes organo-siliconas, (producidos por la introducción de átomos de silicio en una molécula orgánica anfífila aumentando el carácter lipofílico de este). Surfactantes fluorados, (producidos por la introducción de hidrocarburos perfluorados o fluorocarburos en la parte lipofílica de un anfífilo). (Salager y Fernández, 2004)

2.2.5. Propiedades de los surfactantes.

Los surfactantes poseen dos propiedades fundamentales, son capaces de ubicarse en una interfase según el fenómeno llamado adsorción, y también son capaces de asociarse para formar estructuras organizadas o polímeros de agregación llamados micelas. Todas las propiedades de las soluciones de surfactantes provienen de estas dos propiedades (Salager, 2002).

2.2.5.1. Adsorción.

Cuando una molécula de surfactante se ubica en forma orientada en una interfase o superficie, se dice que se adsorbe. La adsorción es un fenómeno impulsado por la disminución de energía libre del surfactante al ubicarse en la interfase y satisfacer parcial o totalmente su doble afinidad. La adsorción es un fenómeno dinámico que está contrarrestado por la desorción. El equilibrio adsorción-desorción se establece entre la interfase y la o las fases líquidas, pero típicamente está muy desplazado hacia la adsorción en la interfase donde el surfactante posee una energía libre menor. Cuando se produce una monocapa, todo ocurre como si la interfase estuviera recubierta por una fina capa de material.

La adsorción de un surfactante en una superficie gas-líquido o en una interfase líquido-líquido, produce en general una reducción de la tensión superficial o interfacial. La tensión es responsable de la curvatura de las interfases, de la formación de gotas, de un gran número de inestabilidades capilares y de numerosos fenómenos de estabilización de interfases. Las fuerzas capilares involucradas pueden ser considerables y se pueden encontrar aplicaciones en la fabricación de adhesivos, la recuperación mejorada de petróleo, la colocación de una monocapa protectora, la contracción de capas de petróleo flotando, etc. El descenso de la tensión favorece la deformación y la ruptura de una interfase, la formación de sistemas dispersos como las emulsiones o las espumas, la movilización del petróleo residual, la limpieza industrial, etc.

2.2.5.2. Asociación.

Cuando la concentración de surfactante aumenta en la fase acuosa, se produce rápidamente la saturación del área interfacial, y como consecuencia el número de moléculas disueltas tiende a aumentar. A partir de cierta concentración llamada concentración micelar crítica (CMC), definida como la concentración a partir de la cual las fuerzas que favorecen la formación de las micelas (efecto hidrófobo), dominan a las

fuerzas que se oponen a estas (repulsiones entre partes polares). Cuando a una solución (acuosa por ejemplo) se le añade cada vez más surfactante, este comienza por adsorberse a las interfases disponibles, luego su concentración en forma monomolecular aumenta hasta que se forman las primeras micelas.

Se han definido sólo micelas en medio acuoso, pero se puede considerar que los mismos fenómenos se producen en medios apolares, bien que en forma diferente. En la Figura 4 se pueden observar distintas estructuras micelares de acuerdo a la asociación de los surfactantes.

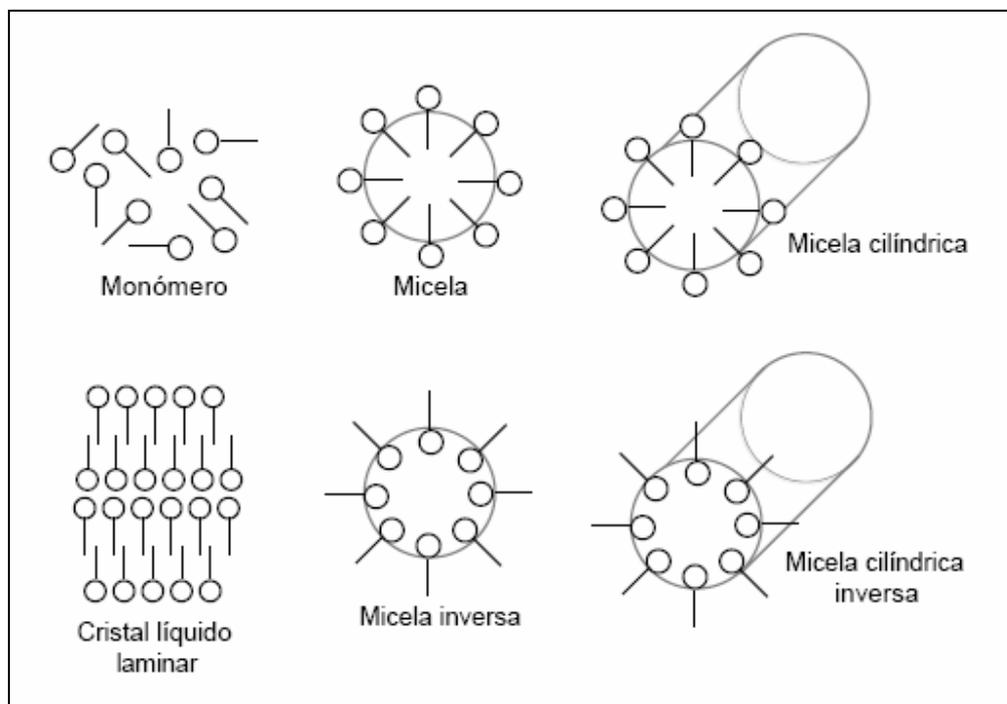


Figura 4. Diferentes estructuras producidas por la asociación de surfactantes (Salager, 1992)

2.3. EMULSIONES.

Una emulsión es una suspensión cuasi-estable de finas gotas de un líquido dispersas en otro líquido. El líquido presente como pequeñas gotas es la fase dispersa o interna, mientras el líquido que lo rodea es la fase continua o externa. Los tres requisitos para

formar una emulsión son dos líquidos inmiscibles, suficiente agitación para dispersar un líquido en pequeñas gotas y el tercer requisito es un emulsificador o un agente surfactante para estabilizar las gotas dispersas. Dos líquidos puros inmiscibles no pueden formar una emulsión estable sin la presencia de fuerzas estabilizadoras de la emulsión, (De Almeida y Rodríguez, 2006). En la figura 5 se muestra una microfotografía de una emulsión de agua en aceite, donde el agua presente como finas gotas conforman la fase dispersa o interna, mientras que el aceite que le rodea constituye la fase continua o externa.

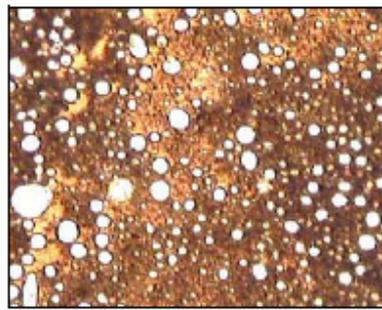


Figura 5. Microfotografía de una emulsión agua en aceite (Padrón y Zúñiga, 2005)

Según la naturaleza de la fase dispersada, las emulsiones pueden ser simples como emulsión de agua en aceite (W/O) y emulsión de aceite en agua (O/W). También pueden existir casos más complejos llamados emulsiones múltiples, en las cuales dentro de las gotas que conforman la fase dispersa existen a su vez gotas del mismo fluido que conforman la fase continua (O/W/O y W/O/W). La simbología con la que se presenta cada tipo de emulsión consiste en las siglas en inglés de las sustancias que las componen W (water: agua) y O (oil: aceite) indicando desde la fase más interna hasta la fase más externa. El uso de la simbología inglesa se debe a que en castellano ambas palabras empiezan con la misma letra. La figura 6 muestra los diferentes tipos de emulsiones. (De Almeida y Rodríguez, 2006).

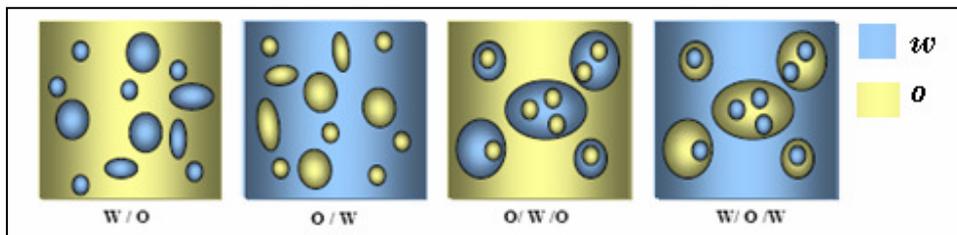


Figura 6. Tipos de emulsiones. (De Almeida y Rodríguez, 2006)

El tipo de emulsión formada depende fundamentalmente de la naturaleza del agente emulsionante estando también influenciado por el método de preparación o formación de la emulsión, así como por la proporción relativa de aceite y agua presentes (De Almeida y Rodríguez, 2006).

Un segundo mecanismo de estabilización ocurre cuando los emulsificadores son partículas sólidas muy finas. Para ser agentes emulsificantes, las partículas sólidas deben ser mas pequeñas que las gotas suspendidas y deben ser humedecidos por el aceite y agua. Luego estas finas partículas sólidas o coloides (usualmente con surfactantes adheridos a la superficie), se colecta en la superficie de la gota y forman una barrera física. (Padrón y Zúñiga, 2005).

Las emulsiones algunas veces son clasificadas de acuerdo al tamaño de gotas dispersas; considerándose como macroemulsión cuando el rango de las gotas es de 10 a 150 micras y como microemulsion o micela cuando el tamaño de gotas varía de 0,5 a 50 micras. (Schramm, 1992).

El tipo de emulsión (W/O ó O/W) se determina fácilmente por medición de la conductividad eléctrica, la cual es proporcional a la conductividad de la fase continua o externa y al porcentaje volumétrico de dicha fase en la emulsión.

El cambio de un tipo de emulsión a otro, por ejemplo de O/W a W/O, se denomina *inversión de la emulsión*, y se detecta sin dificultad por medición de la conductividad electrolítica.

2.3.1. Propiedades de las emulsiones (De Almeida y Rodríguez, 2006)

Las propiedades más importantes que permiten caracterizar las emulsiones se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de las emulsiones (De Almeida y Rodríguez, 2006)

| PROPIEDAD | DEFINICION | EFECTO EN LA EMULSION | |
|--|--|--|---|
| | | <i>Baja</i> | <i>Alta</i> |
| <i>Conductividad</i> | Capacidad de la emulsión para transportar corriente. | Cuando se trata de emulsiones del tipo W/O. | Cuando se trata de emulsiones del tipo O/W. |
| <i>Viscosidad</i> | Resistencia de la emulsión a deformarse por parte de la capa de surfactante adsorbida. Esta es dada por el tipo de fase externa, el contenido de fase interna y la distribución de tamaño de gota. | Normal para emulsiones estables del tipo O/W. Indica que una emulsión es probablemente inestable, sobre todo cuando se trata de emulsiones del tipo W/O. | Para emulsiones W/O es estable porque disminuye el coeficiente de difusión y la frecuencia de colisión de las gotas. |
| <i>Tamaño de gota y tipo de distribución</i> | Diámetro promedio del tamaño de todo el conjunto de gotas presentes en la fase dispersa de la emulsión. Cuando se habla de tamaño de gotas se refiere a la Distribución de Tamaño de gota o DTG, lo cual representa la tendencia general del conjunto de diámetros de las gotas presentes. | Gotas muy pequeñas producen emulsiones más estables. Una tendencia monodispersa es lo ideal para estabilidad; sin embargo, si es polidispersa también puede llegar a ser conveniente. | Las gotas más grandes tienden a atraer a gotas más pequeñas (distribución bimodal) produciendo emulsiones inestables. La experiencia señala que una amplia distribución de tamaños de gotas produce una emulsión menos estable que una distribución estrecha. |
| <i>Tensión interfacial</i> | Energía necesaria para aumentar la superficie de interfase mediante el aumento del área de las gotas | A una baja tensión interfacial, el tamaño de las gotas se hace pequeño (aumenta el área de interfase), por lo que se pueden dispersar de manera más uniforme en la fase continua haciendo estable la emulsión. | Es probablemente inestable |
| <i>Diferencia de densidades</i> | Valor cuantitativo dado por la diferencia entre la magnitud de la densidad de la fase dispersa y la magnitud de la densidad de la fase continua. | Es probablemente muy estable, ya que la fuerza neta de gravedad que actúa en una gota es directamente proporcional a la diferencia de densidades, lo cual permite que dicha fuerza aumente para impedir la sedimentación de las gotas. | Aumentando la diferencia de densidad por incremento de la temperatura se logra aumentar la velocidad de sedimentación de las gotas y por ende, se hace inestable acelerando la coalescencia. |
| <i>Salinidad</i> | Concentración de sal presente en la fase acuosa. Esta propiedad tiene efecto solo en emulsiones que poseen surfactantes del tipo iónico | Favorece la inestabilidad de las emulsiones. | Suele formarse emulsiones inestables. |

| | | | |
|-------------|--|---|--|
| Edad | Tiempo medido desde el instante en que la emulsión ha sido formulada hasta que se separen sus fases componentes. | Podría llegar a ser menos estable porque aun la película de surfactante que rodea a las gotas no es lo suficientemente gruesa, fuerte y dura. | Incrementa la estabilidad de la emulsión porque permite que los surfactantes migren a la interfase de la gota. |
|-------------|--|---|--|

2.3.2. Estabilidad de emulsiones (De Almeida y Rodríguez, 2006)

La estabilidad de una emulsión se refiere a la capacidad que tiene el sistema para permanecer estable o emulsionado con el pasar del tiempo. A nivel experimental es relativamente fácil decir cuando una emulsión se ha roto, pero es difícil definir un valor de su estabilidad.

La estabilidad de una emulsión se relaciona con el volumen de las fases separadas.

Después de algún tiempo el sistema se separa típicamente en dos o tres zonas: una zona central que contiene una nata o emulsión de alto contenido de fase interna y dos separadas (la interna y la externa), como se puede observar en la Figura 7.

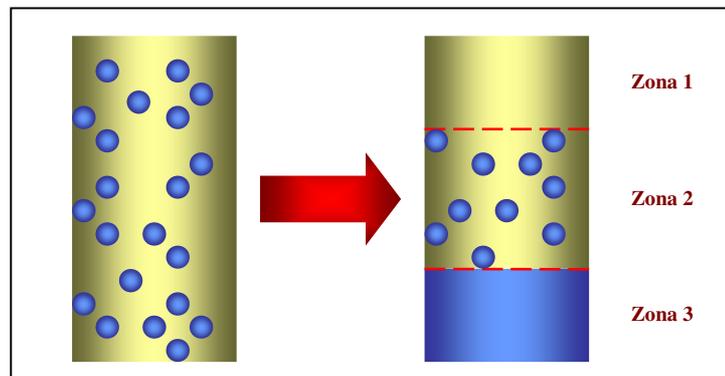


Figura 7. Zonas presentes en la desestabilización de emulsiones.

En general los parámetros que afectan la estabilidad de las emulsiones son:

- a) *Temperatura:* Al aumentar la temperatura la viscosidad del sistema disminuye y se facilita la floculación (aglomeración de gotas). Además de tender a reducir la

rigidez de la película interfacial existente entre el medio disperso y el medio continuo, y por ende desestabilizarla. Sin embargo, también puede producir una aceleración del proceso de formación de dichas películas, ya que aumenta el valor del coeficiente de difusión de los surfactantes naturales.

- b) *Surfactantes*: El tipo y la concentración de surfactantes juegan un rol muy significativo en la estabilidad de las emulsiones, ya que aumentan el tiempo de desestabilización y, por lo tanto, tienden a estabilizar la emulsión.
- c) *Contenido de agua*: Es un factor importante porque a medida que la cantidad de agua es mayor, la distancia entre las gotas dispersadas en la fase externa será menor, aumentando el número de colisiones entre las gotas y facilitando así el acercamiento entre ellas y su posterior coalescencia. En general menores porcentajes de agua presentes en el crudo tienden a formar emulsiones más estables.
- d) *Envejecimiento*: Cuando un aceite emulsionado es almacenado y no se trata, una cierta cantidad de agua precipita por gravedad y otra parte queda emulsionada favoreciendo la estabilidad en el tiempo.

2.3.3. Medición de Estabilidad de una emulsión (Salager, 1999)

Una emulsión es por definición un sistema termodinámicamente inestable y tarde o temprano debe separarse en dos fases. La única medida realmente absoluta de la estabilidad de una emulsión es la variación del número de gotas en función del tiempo. Tal información no se puede obtener experimentalmente sino mediante la variación de la distribución del tamaño de gota con el tiempo. Desde el punto de vista experimental tal medición implica bien sea que se tome una muestra, o que se diluya el sistema completo con un gran exceso de fase externa. El resultado del primer método depende considerablemente de la posición del muestreo y el segundo puede emplearse una sola vez, porque altera el estado del sistema.

La Figura 8 indica la fracción de volumen de aceite coalescido en función del tiempo. Esta curva posee una forma sigmoide, la cual es característica de un proceso con varias etapas. Durante un cierto período inicial no se separa ningún tipo de volumen; este período de iniciación corresponde a la agrupación y la sedimentación de gotas y al drenaje de la fase externa hasta alcanzar una emulsión compactada en la cual las gotas "no se tocan". En realidad las gotas están separadas por una película delgada de fase externa, en la cual la interacción entre las interfases empieza a jugar un papel importante y puede producir un efecto notable de retardo en el proceso de coalescencia. Cuando las películas intergotas llegan a alcanzar un espesor del orden de 200\AA , son susceptibles de romperse, provocando así la coalescencia de las gotas y la formación de un volumen separado. Esta etapa corresponde a la parte ascendente de la curva, cuya forma sigmoide puede interpretarse como la función acumulativa de una distribución normal o log-normal, lo que no es de extrañar por el carácter aleatorio del proceso de ruptura.

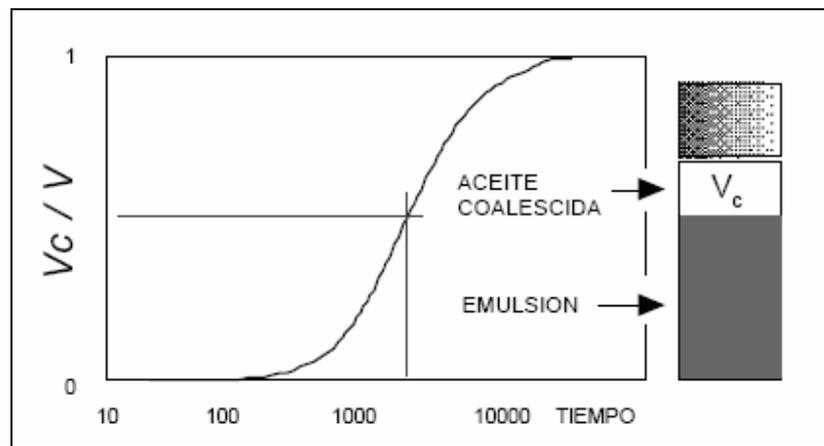


Figura 8. Fracción de volumen de aceite coalescido o clarificado en función del tiempo. (Salager, 1999)

Con el fin de cuantificar la estabilidad con valor numérico, se ha propuesto usar el tiempo requerido para que coalesca la mitad (u otra fracción) del volumen de fase interna, donde V es el Volumen de la fase oleica y V_c es el volumen coalescido de esta

fase. De aquí que, para obtener un 50% de la fase dispersa separada pasaron aproximadamente 1500 unidades de tiempo.

2.3.4. Agentes Emulsionantes (Marfisi 2004)

Los agentes emulsionantes son numerosos, entre ellos se pueden citar:

- a) Surfactantes naturales, asfaltenos y resinas que contienen ácidos orgánicos y bases, ácidos nafténicos, ácidos carboxílicos, porfirinas, compuestos de azufre, fenoles, cresoles, y otros surfactantes naturales de alto peso molecular.
- b) Sólidos finamente divididos, tales como arena, arcilla, finos de formación, esquistos, lodos de perforación, fluidos para estimulación, incrustaciones minerales, productos de la corrosión (por ejemplo sulfuro de hierro), parafinas y asfaltenos precipitados.
- c) Químicos de producción añadidos tales como inhibidores de corrosión, biocidas, limpiadores, surfactantes y agentes humectantes

Los agentes emulsificantes relativamente hidrofílicos (afinidad mayor hacia la fase acuosa), forman en general, emulsiones O/W mientras que los lipofílicos (afinidad mayor hacia la fase aceitosa), favorecen la formación de emulsiones W/O.

2.3.5. Composición de una emulsión

Las cantidades relativas de fase dispersa y de fase continua (referidas también como fase interna y fase externa) influyen notablemente sobre las propiedades. Debajo de 20% de fase interna se habla de una emulsión de bajo contenido de fase interna. En tales emulsiones se puede considerar que hay poca interacción de las gotas entre si, lo que permite modelar ciertos comportamientos. Al otro extremo están las emulsiones de alto

contenido de fase interna, en las cuales las gotas de la fase interna ocupan más del 60-70% del volumen. En tales emulsiones las interacciones entre gotas dominan los efectos. Más allá de 75%, las gotas están literalmente al contacto y la emulsión se torna muy viscosa. La concentración del agente emulsionante es variable, pero en la práctica existen dos límites. Debajo de una concentración mínima del orden de algunos miles de ppm (0,1% por ejemplo), no hay bastante emulsionante para estabilizar la emulsión. Más allá de algunos por cientos (5% por ejemplo), no se gana nada aumentando la concentración del surfactante. En las aplicaciones prácticas se encuentra una concentración de emulsionante en el rango 0,2 - 3%. Por razones de eficiencia y de costo se usa en general un emulsionante compuesto de una mezcla de varios surfactantes (Salager, 1999).

La utilización de mezclas puede obedecer a una escogencia deliberada, por ejemplo, con el fin de obtener una propiedad intermedia entre la de los dos componentes. En general se trata de la misma propiedad con diferentes grados de intensidad, como es el caso de la mezcla de surfactantes donde se calcula la hidrofiliidad por la regla del Balance Hidrofílico-Lipofílico. (Antón, 1993)

Se obtendrán buenas mezclas a partir de sistemas que se comportan como soluciones ideales en las cuales los componentes son independientes y sus efectos aditivos. Se llama mezcla ideal de surfactantes a aquella en donde la propiedad fisicoquímica varía linealmente con la composición, como se muestra:

$$\Pi_M = \sum x_i \Pi_i \quad (1)$$

La ecuación anterior es análoga a la regla que permite calcular el Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB) de una mezcla de surfactantes (Alayón, 2006):

$$HLB_M = \sum x_i HLB_i \quad (2)$$

2.4. FORMULACIÓN DE EMULSIONES.

2.4.1. Formulación fisicoquímica

Se llama formulación físico-química a un conjunto de variables que definen la naturaleza de las sustancias utilizadas (surfactante, agua, aceite y otros), así como las variables de estado, temperatura y presión. La formulación fisicoquímica tiene que ver con la naturaleza de los componentes. En el sistema más simple, a saber el ternario mínimo, hay tres componentes: el surfactante, el agua y el aceite, cada uno con su potencial químico estándar que define su estado físico-químico a cierta temperatura y presión (Salager, 1999)

La formulación de estos sistemas ternarios comprende dos tipos de variables: las variables de composición y las variables de formulación.

Las variables de composición definen las fracciones o porcentajes (en peso, mol o volumen) de cada uno de los componentes del sistema, por ejemplo: la concentración del surfactante y la relación volumétrica agua/aceite o fracción volumétrica de fase acuosa (fw)

Las variables de formulación han sido reconocidas como aquellas que caracterizan los tres componentes principales y sus interacciones en la interfase: la longitud de cadena alquilo del surfactante, así como su grupo hidrofílico, la salinidad de la fase agua (tipo de electrolito y su concentración), el tipo de aceite (su estructura y su polaridad), la presencia de alcoholes, la temperatura y la presión.

2.4.2. Balance hidrofílico-lipofílico

Griffin (1949) propuso que el balance hidrofílico-lipofílico (HLB) como una medida de la afinidad relativa del surfactantes para las fases agua y aceite. El HLB depende esencialmente del surfactante aunque el método original de Griffin, ahora abandonado

por su complejidad e imprecisión, tomaba en cuenta la naturaleza del aceite. El HLB mide en escala de 0 a 20 la importancia relativa del grupo hidrofílico y del grupo lipofílico en la molécula de surfactante. Para surfactantes no iónicos se toma la relación:

$$HLB = \frac{100}{5} \cdot \frac{PM_{OE}}{PM_T} \quad (3)$$

Como consecuencia, el HLB no toma en cuenta la salinidad del agua, el tipo de aceite, la temperatura, ni otras variables de formulación. Las imprecisiones sobre HLB pueden ser considerables, a veces del orden de 2 unidades. De todas formas, el HLB ha sido y es todavía una escala muy usada en la práctica, probablemente por su extrema simplicidad y también porque suministra un excelente método de comparación entre sistemas semejantes, por ejemplo, con surfactantes de la misma familia.

El HLB como método asigna un número para cada uno de los surfactantes, dicho número está referido a una escala según algunas aplicaciones convenientes (Becher, 1965). Griffin (1954, c.p. Becher, 1965) presentó el rango de HLB requerido para varios sistemas, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Rangos de HLB y su aplicación (Becher, 1965)

| Rango | Aplicación |
|--------------|-------------------|
| 3-6 | Emulsificante W/O |
| 7-9 | Agente humectante |
| 8/18 | Emulsificante O/W |
| 13-15 | Detergente |
| 15-18 | Solubilizador |

Cualquiera sea la forma como la estabilidad es medida, se aprecian dos máximos cuando se gráfica la estabilidad en función del balance hidrofílico-lipofílico. Uno de los máximos se ubica en un intervalo bajo de HLB donde se forman emulsiones del tipo

W/O y el otro máximo corresponde a un intervalo de alto HLB donde se forman emulsiones del tipo O/W, tal como se aprecia en la Figura (Salager, 2000).

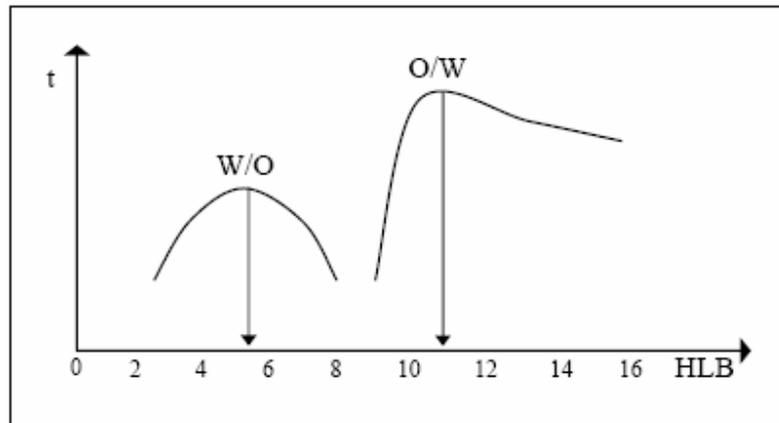


Figura 9. HLB requerido para emulsiones W/O y O/W (Salager, 2000)

El máximo de estabilidad a bajo HLB se ubica casi siempre en la misma posición en la mayoría de los barridos de HLB, así el HLB requerido para obtener emulsiones estables del tipo W/O esta entre 5 y 6 para mayoría de las fases oleicas (Salager, 2000).

2.4.3. Diagrama ternario de formulación (De Almeida y Rodríguez, 2006)

De forma general, solo se obtienen emulsiones para ciertas proporciones de sus fases. La Figura 10 muestra por medio de un diagrama ternario las zonas correspondientes a cada textura o apariencia de las emulsiones formadas por las diversas proporciones de las fases agua, aceite de parafina y un agente surfactante no iónico que posee un $HLB=8,5$. Cuando se busca formar emulsiones estables el objetivo es lograr lo que en esta figura se denomina emulsión fina la cual es presentada por la zona sombreada.



Figura 10. Diagrama ternario: zona de emulsiones (Salager, 1999)

La técnica para preparar emulsiones se basa principalmente en la presencia de las cantidades apropiadas de agua y aceite, y la incorporación del surfactante adecuado junto a un co-surfactante (alcohol) en las cantidades apropiadas; pero sobre todo se basa en la adición de energía (por agitación) para lograr la formación de gotas y su dispersión en la fase continua.

Los equipos usados con este fin son numerosos pero se pueden clasificar en cuatro categorías, tales como agitadores mecánicos, homogeneizadores, molinos coloidales y ultrasonido.

2.4.4. Variables de formulación (De Almeida y Rodríguez, 2006)

Numerosos estudios relacionados con los sistemas surfactantes-aceite-agua también llamados SOW (Surfactant-Oil-Water), han permitido definir las siguientes variables de formulación:

- a) *La salinidad de la fase acuosa:* (%sal respecto al agua) a bajas concentraciones le confiere mayor polaridad al agua para adsorber con mayor intensidad el lado polar de los surfactantes iónicos (catiónicos y aniónicos). En las emulsiones preparadas con surfactantes no iónicos, esta variable no presenta gran efecto.
- b) *ACN (Alkane Carbone Number) el número de carbonos de la molécula del n-alcano:* si el aceite no es un n-alcano, se define EACN, como el número de carbonos de la molécula de n-alcano equivalente. En el caso de aceites complejos e incluso para crudos, se usan reglas de mezcla lineales con base en las fracciones molares.
- c) *HLB (Balance Hidrofílico-Lipofílico):* cuando el HLB tiende a un valor de cero (0), la afinidad del surfactante será hacia el aceite y se podrán formar emulsiones del tipo W/O, mientras que si este tiende a un valor de veinte (20) será mas afín al agua y se tendrán emulsiones del tipo O/W.
- d) *La presencia de alcoholes,* con referencia al tipo y concentración, permiten darle cierta afinidad al surfactante para que este sea absorbido principalmente por una de las fases. De acuerdo al tamaño y linealidad de la cadena de carbono, lo más usual es emplear un alcohol comprendido entre butanol (C4) y dodecanol (C12). En las emulsiones preparadas con surfactantes del tipo iónico, los alcoholes no tienen gran efecto.
- e) *La temperatura,* afecta de manera notoria cuando se trata de emulsiones formuladas con surfactantes no iónicos, pero en general el aumento de esta altera la estabilidad, por lo tanto su formulación debe hacerse a temperatura controlada.

Winsor describió el concepto de formulación a partir de la relación entre las interacciones del surfactante con la fase acuosa por un lado y con la fase oleosa por el otro (Salager, 1999):

$$R = \frac{A_{co}}{A_{cw}} \quad (4)$$

Si $R > 1$, las interacciones entre el surfactante y la fase aceite superan las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa porque tiende a solubilizarse en la fase aceite.

Si $R < 1$, se dice que el surfactante tiene un comportamiento hidrofílico debido a que las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa superan a las interacciones entre surfactante y la fase aceite.

Si $R = 1$, las interacciones se equilibran y el surfactante no se encuentra ni en la fase acuosa ni en la fase aceite sino en una fase intermedia.

Los estudios muestran que la obtención de una tensión interfacial baja ocurre en el punto de formulación óptima cuando la situación fisicoquímica se puede describir como $R = 1$, pero esto no establece una relación numérica para traducir esta condición en términos de variables experimentales de formulación. A pesar de que esta relación es muy útil para entender cualitativamente lo que pasa en la interfase, el estado actual de la termodinámica del estado líquido no permite estimar el valor de tales interacciones, y se debe recurrir a otros modelos (Salager, 1984)

Shinoda y Arai en 1964 propusieron la Temperatura de inversión de fases PIT (del inglés "Phase Inversion Temperature"), que originalmente se definió como la temperatura a la cual la afinidad predominante de un surfactante no iónico se cambiaba del agua al aceite debido a la deshidratación de la cadena polióxido de etileno al aumentar la temperatura. Después se consideró como la temperatura a la cual una emulsión no iónica se invierte.

Aunque la PIT esta limitada a surfactantes no iónicos y al rango de temperatura en la cual el agua es líquida, es un precursor de los conceptos actuales porque toma en cuenta

todos los parámetros de formulación y se fundamenta sobre una metodología experimental definida.

A partir de trabajos especialmente relacionados con la condición de obtención de un sistema trifásico y al conocimiento de las diferentes variables fisicoquímicas, fue posible establecer un modelo termodinámico basado en los potenciales químicos y cuantificar este balance por la siguiente expresión (Marfisi, 2004):

$$SAD = \text{afinidad para el aceite} - \text{afinidad para el agua} = \mu_w^* - \mu_o^* \quad (9)$$

Se propusieron dos correlaciones importantes que toman en cuenta las variables de formulación y el ambiente fisicoquímico del sistema SOW según el tipo de surfactante (Marfisi, 2004):

Para surfactantes iónicos:

$$\frac{SAD}{RT} = \sigma + \ln S - KEACN - f(A) - a_T \Delta T \quad (10)$$

Para surfactantes no iónicos:

$$\frac{SAD}{RT} = \alpha - EON + bS - kEACN - \phi(A) - c_T \Delta T \quad (11)$$

Cuando SAD varía de negativo a positivo, lo que puede realizarse por ejemplo aumentando la salinidad, el peso molecular de la parte apolar del surfactante (aumenta σ), o la temperatura (para los no iónicos), se obtiene un barrido de formulación, y el sistema SOW exhibe una serie de propiedades cualquiera sea la variable de formulación utilizada para modificar SAD (Marfisi, 2004)

En $SAD = 0$, la afinidad del surfactante para la fase acuosa equilibra exactamente su afinidad para la fase aceite; la solubilización de agua y aceite por unidad de masa de surfactante pasa por un máximo y puede formar una tercera fase (microemulsión intermedia), correspondiente a un $R=1$. La tensión interfacial pasa por un mínimo extremadamente marcado que puede alcanzar un valor ultrabajo (10^{-3} mN/m), requerido por los procesos de recuperación mejorada de petróleo.

Para valores negativos ($SAD < 0$), la afinidad del surfactante en la fase acuosa supera su afinidad en la fase aceite; el surfactante se reparte preferencialmente en la fase acuosa. Lo opuesto se aplica para $SAD > 0$.

En la Figura 11 se aprecia la relación entre la relación de la R de Winsor y SAD en un barrido de formulación, donde la zona amarilla representa la afinidad del surfactante hacia una u otra fase.

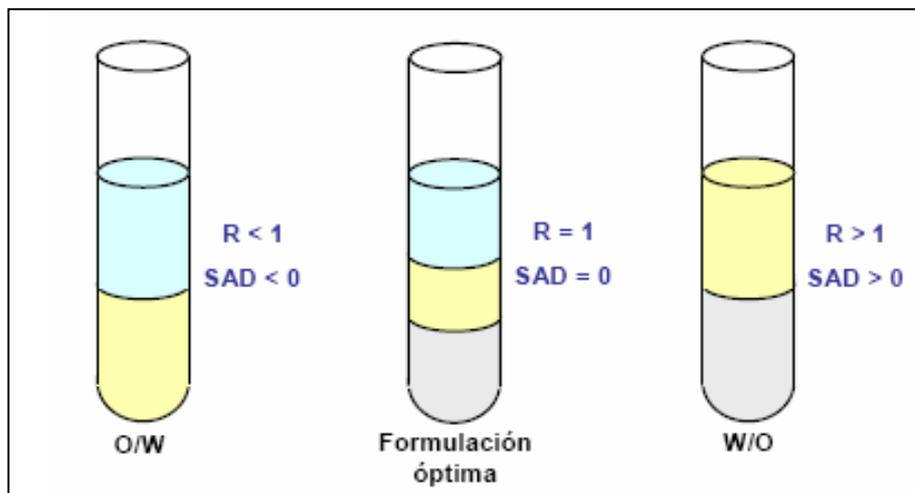


Figura 11. Relación entre la R de Winsor, SAD y la formulación (Alayón, 2006)

2.5. ASFALTENOS.

Los asfaltenos son moléculas planas, poliaromáticas y policíclicas que contienen heteroátomos y metales, que existen en un estado de agregación en suspensión y están rodeados y estabilizados por resinas como agentes peptizantes, es decir, se adsorben rodeando a los agregados de asfaltenos, permitiendo un equilibrio molecular con el resto de los componentes del crudo. Los asfaltenos no son puros, ni son moléculas idénticas, se sabe que tienen una carga eléctrica, y se piensa que están poli dispersos. Para fines prácticos, típicamente los asfaltenos son definidos como la fracción de crudo insoluble en solventes alifáticos de bajo peso molecular como n-pentano y n-heptano, pero solubles en tolueno. (Alayón, 2004).

La estructura de las moléculas de asfaltenos muestra que son hidrocarburos con partes relativamente polares dadas por los anillos aromáticos y los grupos funcionales y partes apolares constituidas por las cadenas alifáticas; lo cual permite presentar una dualidad polar-apolar dándole propiedades interfaciales. Debido a que los asfaltenos contienen una alta complejidad macromolecular, solo se conocen sus estructuras químicas promedios. (Alayón, 2004).

Los asfaltenos se presentan como una familia de compuestos químicos orgánicos, y resultan de la destilación fraccionada del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y por tanto, los de mayor punto de ebullición.

2.5.1. Composición química de asfaltenos (Alayón, 2004)

Los asfaltenos son compuestos polidispersos en grupos funcionales, peso molecular y estructura. El contenido de compuesto aromático está entre 40-60%, con una relación atómica H-C de 1-1.2. Un alto porcentaje de los anillos aromáticos están conectados en la estructura intermolecular, y por esta razón las moléculas de asfaltenos presentan formas aplanadas.

Hace poco tiempo, se consideraba que los asfaltenos eran macromoléculas de peso molecular de varias decenas de miles y que poseían una estructura formada por una matriz aromática muy condensada, rodeada por anillos nafténicos y cadenas alifáticas, con incorporación de grupos funcionales tales como: alcoholes, aminas primarias y secundarias, ácidos, éteres, esterés, cetonas y conjuntos mas complejos como las porfirinas. Los últimos estudios donde se presentan técnicas de análisis tienden a presentar a los asfaltenos con un peso molecular mucho menor, entre 800 y 3000 y una matriz menos condensada, limitada a cuatro (4) o cinco (5) anillos bencénicos ligados por naftenos y prolongados por grupos alquil.

La espectrofotometría de infrarrojo, resonancia magnética nuclear y la difracción de rayos X, se han utilizado para determinar los detalles químicos de los heteroátomos, determinación de grupos funcionales, y tipos de carbono e hidrogeno en los asfaltenos.

Algunas publicaciones sugieren que los componentes asfálticos deberían de ser vistos como una dispersión coloidal. De aquí que se presenta la teoría del estado coloidal de los asfaltenos, que indica que las moléculas de estos se encuentran rodeadas por moléculas de resinas, que hacen transición de asfaltenos altamente polares a crudo relativamente no polar. Por otro lado, se ha desarrollado con mucho éxito un modelo estructural, el cual explica muchas de las propiedades de los asfaltenos. En este modelo, los asfaltenos consisten en láminas planas de sistemas aromáticos condensados los cuales pueden ser interconectados por sulfuros, éter o cadenas alifáticas. Un promedio de cinco (5) de esas láminas son amontonadas por interacciones π - π . Los puentes de hidrógeno y las interacciones dipolo-dipolo causan la agregación de asfaltenos en micelas cuando la concentración de estos es suficientemente alta.

2.6. SEPARACION DE EMULSIONES Y DESHIDRATACIÓN DE CRUDOS.

2.6.1. Separación de emulsiones

Es posible por diversos procedimientos romper las emulsiones, es decir, transformarlas en dos capas líquidas separadas; a este proceso se le puede llamar *demulsificación*. Los métodos como calentamiento, solidificación y centrifugación se emplean para romper emulsiones. (Rebolledo, 2007)

Diversos estudios se han hecho sobre los mecanismos de ruptura de una emulsión W/O. Según el análisis de Jeffreys y Davies (1971) estas etapas se reducen a tres:

Etapas 1. Acercamiento macroscópico de las gotas

Cuando las gotas de la fase dispersa son más o menos grandes (diámetros entre 1 y 100 μm) se aproximan por sedimentación gravitacional, gobernadas por las *leyes de Stokes* (como se muestra en la ecuación 12, basada en la suposición de gotas esféricas rígidas) o de *Hadamard* (ecuación 13, que considera el movimiento convectivo interno en las gotas y el efecto de la viscosidad de la fase interna). En caso de que los diámetros sean menores de 5 μm está presente el *movimiento Browniano*.

$$V_s = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)g \cdot r^2}{9\eta_e} = f_s \cdot r^2 \quad (12)$$

$$V_H = f(V_s, \eta_e, \eta_i) \quad (13)$$

Para aumentar la velocidad de las gotas, generalmente se utiliza calor, que reduce la viscosidad de la fase externa y aumenta la diferencia de densidad entre los fluidos.

También se emplean fuerzas diferentes a la gravedad natural para aumentar la velocidad de contacto y/o el tamaño de la gota, como la gravedad artificial por centrifugación,

fuerzas capilares con filtros coalescedores o fuerzas electrostáticas. (Salager y Marfisi, 2004).

Etapa 2. Drenaje de la película intergota

Al final de la etapa anterior, las gotas se deforman y se genera una película entre dos gotas. En la etapa llamada drenaje de la película intergota, están involucrados fenómenos interfaciales relacionados con la presencia de surfactantes adsorbidos (Salager y Marfisi, 2004).

La velocidad de drenaje de la película depende de las fuerzas que actúan en la interfase. Cuando dos gotas de fase interna de una emulsión se aproximan una a la otra debido a las fuerzas gravitacionales, convección térmica o agitación, se crea un flujo de líquido entre ambas interfases y el espesor de la película disminuye.

El flujo de líquido trae consigo moléculas de surfactantes naturales y otras partículas de actividad superficial que se adsorben en la interfase, creando un gradiente de concentración.

El esfuerzo de corte asociado con el drenaje tiende a concentrar la mayor parte de las moléculas de surfactante natural fuera de la película y a disminuir su concentración en el interior de la película. Al adicionar al sistema un agente capaz de reducir sustancialmente la tensión interfacial (desemulsionantes o de demulsificantes), sus moléculas son adsorbidas en los espacios dejados por los surfactantes naturales en la película, (Salager y Marfisi, 2004).

Por la variación de la tensión interfacial con el tiempo, la tasa de adsorción de los desemulsionantes en la interfase crudo/agua es más rápida que la de los surfactantes naturales del crudo. Cuando la película llega a ser muy delgada y debido a la proximidad de la fase dispersa, las fuerzas de atracción de Van der Waals dominan y ocurre la coalescencia.

Etapa 3. Coalescencia

Se define como un fenómeno irreversible en el cual las gotas pierden su identidad, el área interfacial se reduce y también la energía libre del sistema (condición de inestabilidad). Sin embargo, este fenómeno se produce sólo cuando se vencen las barreras energéticas asociadas con las capas de emulsionante adsorbido y la película de fase continua entre las dos gotas. Esta etapa puede considerarse como instantánea respecto a las dos primeras etapas, (Salager y Marfisi, 2004).

2.6.2. Deshidratación de crudos, (Marfisi, 2004).

La deshidratación de crudos es el proceso mediante el cual se separa el agua que esta asociada al crudo, ya sea en forma de una emulsión W/O o en forma libre, hasta reducir su contenido de agua a un porcentaje previamente especificado. Generalmente, este porcentaje es igual o inferior al 1%.

Los métodos de deshidratación o separación de emulsiones de aceite o crudo y agua que se conocen en la industria de producción de petróleo son los siguientes:

- a) Agentes Químicos: el tratamiento químico consiste en inyectar la química deshidratante a nivel del múltiple de producción o en algunos casos en el fondo del pozo, con la finalidad de lograr el mayor tiempo de contacto con la emulsión.
- b) Agente Mecánicos: el tratamiento mecánico se caracteriza por utilizar equipos de separación dinámica que permiten el asentamiento gravitacional de las fases de la emulsión. Entre los más usados están los tanques de lavado y eliminadores de agua libre o *Free Water Knockout*.
- c) Agentes Térmicos: el tratamiento térmico consiste en el calentamiento del crudo mediante equipos de intercambio de calor como calentadores de crudo y hornos.

- d) Agentes Eléctricos: el tratamiento eléctrico consiste en aplicar un campo eléctrico para acelerar el proceso de acercamiento de las gotas de la fase dispersa, generado por el suministro de un alto voltaje entre dos electrodos. En un campo D.C. (corriente directa), las gotas migraran en un patrón continuo con una velocidad determinada por la viscosidad de la fase continua, y gradualmente perderán su carga, dependiendo del tiempo de relajación de la fase continua. En el caso de una corriente continua (A.C.), la gota cargada tenderá a oscilar en una posición media entre los electrodos, (Marfisi, 2004).

2.7. DESHIDRATAACION ELECTROSTATICA.

El proceso de separación más comúnmente usado por su efectividad es el empleo de un campo eléctrico de corriente continua o corriente alterna, mediante el cual se logra la coalescencia de las gotas de agua emulsionada. Sin embargo, conforme los valores de las propiedades físicas del crudo (viscosidad y densidad, principalmente) son más altos, la aplicación de este proceso se dificulta.

Este método es utilizado en combinación con los métodos químico y mecánico en la deshidratación de crudos y consiste en utilizar un campo eléctrico, relativamente fuerte, que induce una orientación polarizada de cargas sobre las moléculas en las superficies de las gotas de agua, coaccionando los cambios de polaridad del campo eléctrico aplicado, una alta frecuencia de choques entre las gotas de agua acelerando la coalescencia y reduciendo significativamente el tiempo de reposo requerido por el crudo tratado (Núñez, 2000).

La aplicación de la deshidratación electrostática goza de ventajas sobre los otros métodos de tratamiento de emulsiones (Rebolledo, 2007):

- a) La capacidad de tratar el crudo a una temperatura relativamente baja.

- b) La rapidez de coalescencia de las gotas de agua.
- c) Se cree que el campo eléctrico impuesto también tiene el efecto de reorganizar las moléculas polares de la película; esto debilita enormemente la película, incrementando la probabilidad de que se rompa en caso de colisión de dos gotas.

La aplicación de un campo eléctrico a la emulsión del crudo orienta las cargas eléctricas dentro de las gotas de agua emulsionada causando su coalescencia. Por lo tanto, esto provoca que se formen gotas más grandes, las cuales precipitarán debido a la fuerza eléctrica y de la gravedad, obteniéndose la deshidratación del crudo.

La separación de las fases mediante campo eléctrico utiliza varios mecanismos para promover la floculación (contacto de las gotas de agua) y la coalescencia (unión de las gotas). Estos mecanismos proporcionan una separación eficiente de las fases.

En general, el mecanismo de coalescencia eléctrica consiste en aplicar un campo eléctrico al sistema emulsionado. Este campo provoca que dos gotas con carga eléctrica y una distancia considerable se influyan debido a la fuerza eléctrica. Es decir, las cargas positivas que rodean a la gota de agua se orientarán hacia el cátodo y las negativas hacia el ánodo. Esta influencia provocará que las gotas se fusionen en una más grande, logrando más rápidamente su precipitación debido a la fuerza de gravedad, como se observa en la Figura 12 (Pérez y Garfias, 2002).

Lo anterior se debe a que dentro de un campo eléctrico ocurre una separación de las cargas dentro de las gotas de agua emulsionadas. Por lo tanto, la fuerza de atracción entre las gotas de agua se incrementa conforme se aumente la intensidad del campo eléctrico.

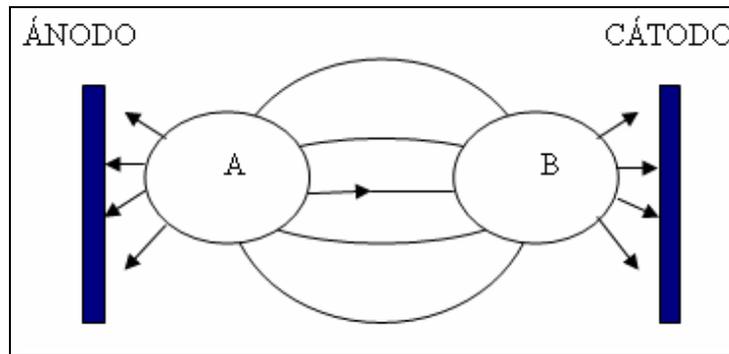


Figura 12. Representación del fenómeno de coalescencia eléctrica de gotas de agua, A y B.
(Rebolledo, 2007)

Sin importar el tipo de campo eléctrico que se aplique cuando se genera una diferencia de potencial entre los electrodos situados en una solución electrolítica, los iones son atraídos por los electrodos de carga opuesta y se genera una corriente eléctrica cuya intensidad depende de la geometría de la celda y de los electrodos, así como de la resistencia eléctrica del medio.

En investigaciones previas se ha podido estudiar el fenómeno que hace que los voltajes DC sean tan efectivos y permitan remover grandes cantidades de agua. Este principio se esquematiza en la Figura 13, donde se representa un crudo fluyendo verticalmente con una sola gota de agua presente. A medida que la gota entra en el alto gradiente DC entre los electrodos, éste le induce una carga a la superficie de la gota, que es igual a la del electrodo más cercano, por lo que inmediatamente ambos se repelen y la gota es atraída hacia el electrodo de carga contraria.

Cuando la gota se acerca al electrodo de carga contraria, la carga superficial de la gota se altera por el gran potencial del ahora electrodo más cercano, lo que hace que sea repelida de nuevo y atraída por el electrodo de carga contraria. Este movimiento de la gota es una migración ordenada entre los electrodos. Los altos potenciales D.C. retienen a las gotas de agua hasta que sean suficientemente grandes como para sedimentar, (Rebolledo, 2007).

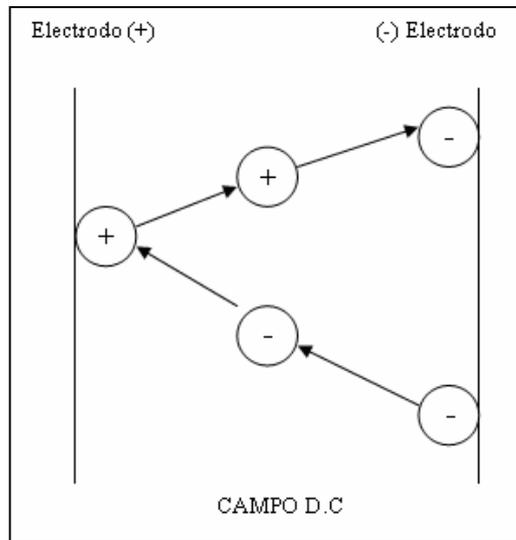


Figura 13. Movimiento de una gota de agua entre dos electrodos de polaridad dual (Rebolledo, 2007).

Dado un estudio de aplicación de campo eléctrico sobre una solución electrolítica, para una celda con electrodos planos y rectangulares de superficie S , alejadas a una distancia L , la resistencia eléctrica está dada por: $R = \rho L/S$ (en Ω); donde ρ es la resistividad del medio (Ω/cm) y el término S/L es la constante de la celda. Por la ley de Ohm, $R = V/I$, siendo V el voltaje en Voltios (V), I la intensidad de corriente en Amperio (A). El inverso de la resistencia se llama Conductancia (χ) en unidades $1/\Omega$ y el inverso de la resistividad es la Conductividad (κ) en unidades cm/Ω ó Siemens por cm (S/cm). Si existe presencia de sal en la fase acuosa, la conductividad de las emulsiones O/W es entonces aproximadamente del mismo orden de magnitud que la conductividad de la solución salina correspondiente (en mS/cm), mientras que la de las emulsiones W/O son dos y hasta tres órdenes de magnitud menores (medidas en $\mu\text{S}/\text{cm}$), (Marfisi, 2004).

De manera general, el proceso de deshidratación electrostática es el más recomendado por su eficiencia para la separación de emulsiones muy estables; además de ocupar poco espacio, reduce en un 40% el consumo de demulsificante, presenta muy pocos problemas de corrosión y el tiempo de residencia es sustancialmente menor (15 a 55 min.) con respecto a los tanques de lavado, entre otras ventajas. (Marfisi, 2004)

2.8. MICROSCOPIA ÓPTICA (Padrón y Zúñiga, 2005).

La microscopía es comúnmente usada como un método absoluto de análisis de partículas y gotas ya que es el único método donde se observa y mide de manera individual a cada una. Permite además el análisis de la forma y composición de las mismas con una sensibilidad mucho más grande que cualquier otra técnica.

En la actualidad se dispone de varios tipos de microscopios que son usados con diferentes fines. Se pueden clasificar básicamente de acuerdo al tipo de fuente luminosa que usan, siendo el microscopio óptico de campo claro el de uso más frecuente. De acuerdo con la radiación que utilizan, se clasifican en:

- a) *Ópticos o luminosos*, tal como los de campo claro, campo oscuro, contraste de fases, fluorescencia y ultravioleta.
- b) *Electrónicos*, tal como los de barrido y los de transmisión.

Estos equipos pueden llegar a presentar alteraciones ópticas en la formación de la imagen debidas a las propias lentes del objetivo. Estas alteraciones se clasifican en: aberraciones geométricas (esféricas, astigmatismo, en coma, curvatura de campo, distorsión, entre otras) y en aberraciones cromáticas.

La combinación de la microscopía con un software hace posible obtener imágenes a partir de una muestra para luego realizar un estudio de los elementos que la conforman. De allí se va a conocer la forma y tamaño de las gotas presentes, así como su comportamiento ante un agente externo.

El uso de una cámara montada por encima del ocular del microscopio permite obtener imágenes digitales que ofrece una variedad de oportunidades en cuanto a la aplicación, uso y manipulación de las imágenes, además de las ventajas de poder almacenar toda la información involucrada.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para la realización del estudio de la influencia de los asfaltenos en la aplicación de campo eléctrico DC a emulsiones agua en aceite (W/O), se llevó a cabo una metodología del tipo exploratoria y experimental que constó de tres fases principales que son:

- a) Extracción y tratamiento de Asfaltenos.
- b) Formulación y preparación de emulsiones estables W/O.
- c) Deshidratación o desestabilización electrostática de las emulsiones.

A continuación se describen los aspectos necesarios de estas fases, para que exista una comprensión detallada de la investigación que se realizó.

3.1. EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DE ASFALTENOS.

Fue seleccionada una muestra limpia y deshidratada de crudo (muestra base) tomada a la salida de un tanque de lavado, ya que conviene que el crudo este deshidratado para su próximo tratamiento de extracción de asfaltenos. Se investigó la cantidad de asfaltenos presentes en la muestra base. Se caracterizó el crudo básicamente determinándose las propiedades de gravedad API y porcentaje de asfaltenos. Los asfaltenos se hicieron precipitar de la muestra de crudo, se extrajeron y se diluyeron con el objetivo de preparar próximamente la emulsión sintética w/o efecto del estudio.

A continuación se presenta en la Tabla 3 la descripción de los datos de la muestra seleccionada de crudo:

Tabla 3. Características de la muestra de crudo seleccionada.

| | |
|--------------------------|---|
| Nombre | E11-TLS |
| Tipo | Muestra de crudo a la salida del tanque de lavado limpia, purificada y deshidratada |
| Localización | Campo Socororo |
| Cantidad | Aproximadamente 750 ml |
| Porcentaje de asfaltenos | Aproximadamente 8% (será verificado mas adelante) |

3.1.1. Determinación de la gravedad API de la muestra de crudo.

Se procedió empleando el método del hidrómetro para la caracterización de la gravedad API de la muestra de crudo. Se siguió el procedimiento según la norma A.S.T.M. D-287 y el D-1298. Para esto se dispuso de un cilindro graduado de 100 ml y se llenó con la muestra de crudo hasta su medida máxima, luego se toma un hidrómetro y se deja flotar libremente. Una vez que el hidrómetro se haya estabilizado se introduce un termómetro, sujetándolo al borde del cilindro. Cuando el hidrómetro se haya equilibrado y la temperatura de la muestra permanezca constante se realiza la lectura. La gravedad tomada a la temperatura de la prueba se ajusta a 15,5°C mediante tablas y se reporta a esta temperatura.

3.1.2. Determinación del porcentaje promedio en peso de asfaltenos de acuerdo a la información recopilada.

Se compiló información suministrada de dos fuentes (ver Apéndice I): Información de pozos del Centro de Análisis PDVSA-San Tomé y Trabajo de Pasantía de la Lic. Geoquímica Vanessa Quero en PETROUCV, se procedió a calcular los promedios aritméticos respectivos y luego el porcentaje promedio final de estas dos fuentes. Esto fue realizado para obtener un estimado del porcentaje de asfaltenos a ser extraídos de la muestra de crudo.

3.1.3. Extracción de asfaltenos. Descripción de Equipos y procedimiento

A continuación se presenta la descripción de los equipos y materiales usados en la extracción de asfaltenos y su debido procedimiento.

3.1.3.1. Extracción asfaltenos. Descripción de Equipos.

Los equipos, materiales y agentes involucrados en la extracción de asfaltenos son los siguientes: beakers de 600 ml, balanza analítica, cantidad suficiente de n-heptano, cronómetro, equipo de agitación por ultrasonido, beakers de 4 litros, varilla o agitador de vidrio, papel de filtro, montaje de filtración al vacío, estufa, envases de vidrio con tapa para el almacenamiento de los asfaltenos.

La balanza analítica usada tiene un peso máximo de 310 gr. y una apreciación de 0.001 gr. El papel de filtro reglamentario es del tipo Whatman grado 42 (A.S.T.M. D6560) o su equivalente tipo Advantec grado NO5C.

Para la extracción de los asfaltenos se hizo uso del hidrocarburo alifático n-heptano, ya que este es un agente precipitante de los asfaltenos, es volátil a temperatura ambiente, su punto de ebullición es 98°C y es irritante. Se recomienda manipular el n-heptano dentro de una campana de extracción, y con el equipo de seguridad debido como guantes de nitrilo y lentes cerrados lateralmente, para evitar el contacto con este solvente alifático y su vapor.

3.1.3.2. Extracción de asfaltenos. Procedimiento

Mediante el siguiente protocolo se separaron y se precipitaron los asfaltenos de la muestra de crudo limpia y pura para su debida extracción. El protocolo mostrado es una compilación del trabajo de Marfisi (2004), basado en el método IP 143/90 modificado:

1. Pesar en un beaker rotulado y limpio de 600ml aproximadamente 100gr de crudo haciendo uso de una balanza analítica, posteriormente disolver en 250ml de n-heptano con una agitación constante durante 15 min. Se recomienda que el n-heptano este previamente frío de nevera.
2. Llevar el beaker junto con su contenido al equipo de agitación por ultrasonido durante 20 minutos; esto con la finalidad de separar las resinas peptizadas de los asfaltenos, además dichas ondas dispersan las partículas de asfaltenos. La figura 14 muestra dos sistemas prediluidos A y B de 100 gr de crudo en 250 ml de heptano cada uno, sumergidos en el baño del equipo de agitación por ultrasonido.

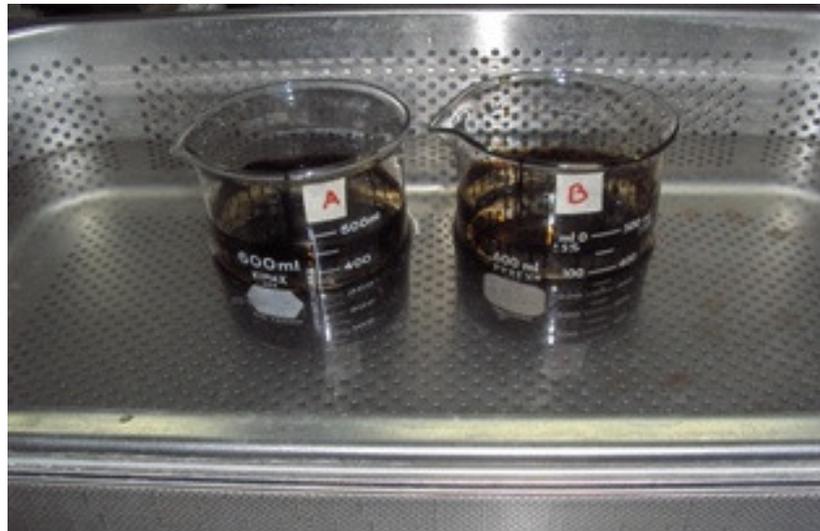


Figura 14. Prediluciones A y B en baño de ultrasonido.

3. Continuar con la dilución con n-heptano a la muestra prediluida, siendo este añadido en una proporción de 30ml por cada 1gr de la muestra (A.S.T.M. 6560-00), agitándose constantemente con una varilla de vidrio hasta lograr que el crudo pierda su consistencia densa y sea disuelto. De esta manera se logra obtener una relación de aproximadamente 1:30 de volumen de crudo/n-heptano. Dejar en reposo por un día, se recomienda repose en frío (nevera). La figura 15 muestra dos sistemas de dilución (C y D) de 100g de crudos en 3000 ml de n-heptano cada uno.



Figura 15. Sistemas de dilución C y D, proporción 1gr crudo/30ml de n-heptano

El reposo es para asegurar la precipitación de los asfaltenos debido a la interacción con el solvente (n-heptano). La figura 16 muestra el almacenamiento o reposo de los sistemas diluidos en refrigeración, para evitar además la evaporación del solvente alifático.



Figura 16. Almacenamiento de tres sistemas de dilución 1/30 volumen de crudo/n-heptano en refrigerador.

4. Pesar el papel de filtro limpio y seco que se utilizará para filtrar los asfaltenos.
5. Filtrar los asfaltenos precipitados, utilizando el equipo de filtración con vacío; en el papel de filtro se recolectan los asfaltenos como residuos sólidos. La figura 17 muestra el montaje del equipo de filtración al vacío utilizado, este consta de: un filtro Buchner que contendrá el papel de filtro y los asfaltenos precipitados, un matraz que recolectará el n-heptano filtrado, una bomba de vacío que succionará la solución que se verterá en el filtro Buchner y una trampa de hielo para evitar que los vapores del solvente sean succionados y asegurar su condensación antes de la entrada de la bomba.



Figura 17. Equipo de filtración al vacío

6. Lavar el residuo sólido (asfaltenos) en n-heptano hasta obtener un solvente de color amarillo claro. La finalidad del lavado es eliminar las resinas que acompañan al precipitado de asfaltenos.
7. Llevar los asfaltenos depositados en el papel de filtro a la estufa a 80°C, tanto tiempo como sea necesario, hasta estabilizar el peso. Determinar el peso de los asfaltenos por diferencia entre el peso de residuo estabilizado (peso del papel de filtro con los asfaltenos) y el peso del papel de filtro tomado al inicio.
8. Conservar el residuo sólido o asfaltenos en un envase de vidrio tapado y lejos de la luz del sol para evitar su degradación. La figura 18 muestra el producto del proceso de extracción de asfaltenos, extraídos del sistema de dilución B. Este residuo sólido de asfaltenos debe de tener un color marrón oscuro casi negro.



Figura 18. Resultado del proceso de extracción de asfaltenos

3.1.4. Determinación del porcentaje en peso de asfaltenos experimentalmente.

Luego de haber extraído los asfaltenos de la muestra de crudo, se pretende verificar el porcentaje de asfaltenos en la muestra, para saber que tan alejado puede estar la cantidad de sólido filtrado del porcentaje de asfaltenos determinado a través de la recopilación de información realizada. Esto se llevó a cabo calculando el porcentaje en peso de la cantidad total de asfaltenos extraídos experimentalmente sobre el 100% del peso de la muestra de crudo, a través de la ecuación 14.

$$\%asf = \frac{masf}{mcrudo} * 100\% \quad (14)$$

Donde *%asf* es el porcentaje de asfalteno p/p que presenta la muestra de crudo, *masf* es el peso en gramos de los asfaltenos totales extraídos y *mcrudo* es el peso en gramos de la muestra de crudo de donde fueron extraídos los asfaltenos, ambos pesados en una balanza analítica.

3.1.5. Dilución de asfaltenos.

Este procedimiento se lleva a cabo para que los asfaltenos puedan ser añadidos a la próxima emulsión sintética a preparar. Los asfaltenos son solubles en hidrocarburos aromáticos específicamente serán diluidos con tolueno.

Se realizó una serie de pruebas de dilución de los asfaltenos para determinar la máxima solubilidad de estos en tolueno con el que se pueda preparar emulsiones sintéticas con diferentes concentraciones de asfaltenos. Estas pruebas diferirán en concentración de asfaltenos diluidos en tolueno, tiempo de dilución y mecanismos de dilución. Entre estos mecanismos se probará con agitación manual y con agitación asistida usando agitador mecánico y magnético.

3.2. FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE EMULSIONES ESTABLES AGUA EN ACEITE.

Las emulsiones sintéticas tipo W/O son preparadas en base al protocolo diseñado por Guerra (2006), que indica que para la preparación de emulsiones estables y reproducibles de agua en aceite es necesario disponer de parafina líquida, agua destilada y surfactantes no iónicos. Con la diferencia que estas emulsiones a ser preparadas además deberán de contener aromáticos y asfaltenos.

3.2.1. Protocolo para la preparación de emulsiones sintéticas agua en aceite.

Para preparar 100ml de emulsión, se sigue con el siguiente protocolo:

- Seleccionar la fracción volumétrica de agua a utilizar.
- Añadir el volumen de parafina a un beaker de 600ml.
- Añadir el volumen de surfactante a la parafina. Este volumen será una mezcla de surfactantes no iónicos. Un barrido de composición de surfactante no iónico realizado por Guerra (2006) permitió determinar que el contenido de emulsificante favorable para obtención de emulsiones estables recomendado es de 2%. Los surfactantes no iónicos seleccionados fueron Monooleato de Sorbitano (Span 80) y Nonil Fenol Etoxilado (Arkopal N100), esto debido a que las mejores mezclas de surfactantes son aquellas en la que hay presente un surfactante lipofílico y otro hidrofílico, como este caso respectivamente, (De Almeida y Rodríguez, 2006). La proporción composicional de la mezcla de surfactantes será establecido por un barrido de HLB, donde se pueda determinar la mezcla de surfactantes que produzca mejor estabilidad de las emulsiones.
- Homogeneizar la mezcla de parafina y surfactantes con una varilla de vidrio.
- Seleccionar y añadir la fracción aromática a utilizar en la emulsión: La fracción aromática seleccionada fue del 20%, por medidas de seguridad en la manipulación de este hidrocarburo (tolueno). En las emulsiones que vayan a ser

preparadas con alguna concentración de asfaltenos, estos deben de haber sido previamente diluidos en esta fase aromática.

- Se recomienda manipular el tolueno dentro de una campana de extracción, y con el equipo de seguridad correspondiente como guantes de nitrilo y lentes cerrados lateralmente, para evitar el contacto con este hidrocarburo aromático y su vapor, debido a su carácter cancerígeno.
- Acondicionar una bureta con el volumen de agua destilada seleccionada.
- Se agitará mecánicamente con un mezclador manual BRAUN MR 5550 (Figura 19).



Figura 19. Mezclador manual BRAUN MR 5550, Guerra (2006)

- Sumergir el mezclador manual en la mezcla e iniciar agitación a una velocidad de 12000 rpm, mientras se agrega el agua con la bureta, luego continuar la agitación por 5 min.
- Luego de retirar el agitador, se puede realizar una simple prueba para tener una idea de la calidad de la emulsión preparada, esto consiste en colocar algunas gotas en un beaker de 600ml lleno con agua destilada, y se debe verificar que las gotas no se mezclen con el agua destilada. La figura 20 muestra como deben de verse estas gotas en el agua.
- Se recomienda dejar en reposo la emulsión por un mínimo de 1 hora antes de hacerle cualquier estudio.
- Se recomienda almacenar la emulsión preparada en refrigeración debido a que existe una reducción del volumen de la emulsión por evaporación del aromático.



Figura 20. Prueba simple de calidad de la preparación de la emulsión

3.2.2. Determinación de la composición de la mezcla de surfactantes no iónicos. Barrido de HLB.

Se realizaron pruebas de desestabilización centrifugada a diferentes muestras de emulsiones variando el HLB de las mismas, es decir variando la composición de la mezcla de surfactantes no iónicos seleccionados (Span 80 y Arkopal N100).

Se escogió como HLB de la formulación final, el de aquella emulsión que presente mayor estabilidad al centrifugarlas. Se determinó la estabilidad de la emulsión en función de sus fases separadas luego de centrifugarlas por treinta (30) minutos.

La centrifugación es un método de desestabilización que acelera la separación de fases de una emulsión, esta simula el envejecimiento natural de la emulsión. Estas pruebas de centrifugación se realizaron en zanahorias con un volumen de 15 ml de emulsión.

3.2.3. Demostración de la separación de fases de la emulsión preparada por medio de la segregación gravitacional.

Se preparó una emulsión limpia al 30% de agua y con un $HLB = 5.92$, y se evaluó su comportamiento en cuanto a la separación de fases en un periodo de 28 días. Se obtuvo una tabla como la siguiente:

Tabla 4. Modelo de tabla registro de la separación todas las fases a través del tiempo por segregación gravitacional.

| Tiempo (días) | 0 (valores iniciales) | 10 | 15 | 28 |
|--------------------------------------|-----------------------|----|----|----|
| Vol. fase oleosa sep. acumulada (ml) | 0 | | | |
| Vol. fase acuosa sep. acumulada (ml) | 0 | | | |
| Vol. fase emulsión reducida (ml) | 15 | | | |
| Vol. fase aromática evaporada (ml) | 0 | | | |
| % fase oleosa acumulada | 0 | | | |
| % fase acuosa acumulada | 0 | | | |
| % fase emulsión | 100 | | | |
| % fase aromática evaporada | 0 | | | |

En un modelo como la tabla 4 fueron registrados los volúmenes correspondientes a las fases separadas y acumuladas por medios gravitacionales o separación natural a través del tiempo por 28 días, el volumen inicial de esta emulsión a estudiar fue de 15ml en un tubo de ensayo. Se pretende graficar el comportamiento de las fases separadas en función del tiempo de estudio para poder mostrar la tendencia del volumen de las fases de la emulsión.

3.2.4. Determinación de la equivalencia en tiempo de la desestabilización natural (gravitacional) y la desestabilización centrifugada de emulsiones limpias (sin asfaltenos).

Se preparó una emulsión limpia al 30% de agua y con un HLB = 5.92, la cual será estudiada su separación gravitacional en fases durante 28 días y su separación inducida por medio de la centrifugación. Se obtendrán dos tablas como las siguientes:

Tabla 5. Modelo de tabla de reporte de la separación de fases oleosa y acuosa a través del tiempo por segregación gravitacional.

| Tiempo (días) | 0 | 10 | 15 | 28 |
|--------------------------------------|---|----|----|----|
| Vol. fase oleosa sep. acumulada (ml) | 0 | | | |
| Vol. fase acuosa sep. Acumulada (ml) | 0 | | | |

Tabla 6. Modelo de tabla de reporte de la separación de fases oleosa y acuosa por medio de centrifugación.

| Centrifugación | No | Si |
|---|-----------|-----------|
| Vol. Fase oleosa sep. acumulada (ml) | 0 | |
| Vol. Fase acuosa sep. acumulada (ml) | 0 | |

El volumen inicial de cada estudio es el mismo e igual a 15 ml. La centrifugación se realizará por treinta (30) minutos. Se pretende graficar el volumen de fase oleosa separada en función del tiempo y encontrar la ecuación matemática que define su tendencia con la menor incertidumbre posible. Luego se determinó la equivalencia del tiempo para lo cual fue centrifugada la emulsión, es decir se usará la ecuación encontrada para evaluar el volumen separado por medio de la centrifugación y determinar el equivalente del tiempo en días que corresponde este tiempo de centrifugación aplicado.

3.2.5. Estudio de comparación entre la desestabilización centrifugada de emulsiones limpias (sin asfaltenos) y emulsiones asfálticas.

Este estudio consta de la simple comparación de volúmenes separados de emulsiones limpias (sin asfaltenos) y emulsiones asfálticas por medio de la centrifugación. Ambos tipos de emulsiones compartirán la misma formulación a diferencia del contenido de asfaltenos; esto es 30% de agua, 20% de tolueno, 48% de parafina y 2% de surfactantes con un HLB = 5.92. Se comparó una emulsión limpia con tres emulsiones de concentración de asfaltenos diferentes, de acuerdo al rango establecido de estudio.

3.3. DESESTABILIZACION ELECTROSTATICA DE EMULSIONES.

Para evaluar el efecto de la aplicación de campo eléctrico DC sobre la desestabilización y separación de fases componentes de las emulsiones de agua en aceite W/O se consideró el montaje y diseño presentado por De Almeida y Rodríguez (2006) en su

instructivo de operación para el estudio de separación de fases de emulsiones de agua en aceite.

3.3.1. Desestabilización electrostática. Descripción de equipos

Se presenta a continuación una breve descripción de los equipos que forman el montaje para el estudio de la aplicación de campo eléctrico a emulsiones W/O; El cual consta de: celda de deshidratación electrostática, fuente de poder de alto voltaje y lámpara de visualización.

3.3.1.1. Celda de Deshidratación electrostática.

La celda para realizar la deshidratación electrostática y observar la separación de las fases componentes de las emulsiones W/O analizadas fue diseñada por De Almeida y Rodríguez (2006) y consta de una cubeta rectangular (6.0 cm longitud x 6.0 cm largo x 0.6 cm ancho) de vidrio de 0.3 cm de espesor y tiene una capacidad de 20ml; presenta dos soportes internos para termocupla. La tapa de la celda esta hecho de poliestireno y presenta un par de electrodos de cobre por los cuales se transmitirá el voltaje a ser aplicado por una fuente de poder de alto voltaje. La figura 21 muestra los componentes de la celda.

Las fases separadas podrán ser medidas debido a la graduación de la celda a distintos volúmenes usando agua destilada. La figura 22 muestra las celdas calibradas

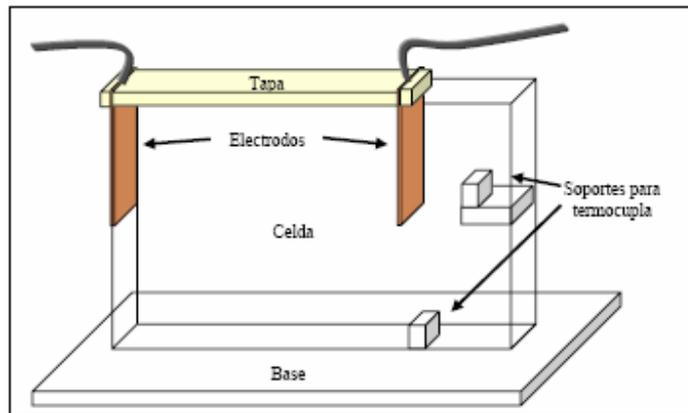


Figura 21. Componentes de la celda de deshidratación electrostática. (De Almeida y Rodríguez, 2006)

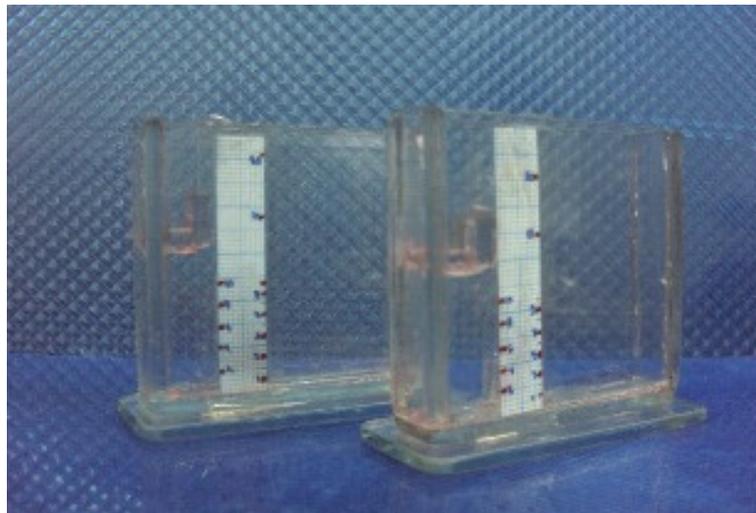


Figura 22. Celdas Calibradas

3.3.1.2. Fuente de poder de alto voltaje variable.

La fuente de poder es un equipo que opera a una intensidad de corriente fija y aporta una alta diferencia de potencial. El voltaje aplicado no permanece constante en el tiempo, aplica un máximo de 10000 voltios que dependerá de la resistividad del medio al que se le genere la diferencia de potencial. La figura 23 muestra el equipo utilizado.



Figura 23. Fuente de poder usado para la aplicación de campo eléctrico DC (De Almeida y Rodríguez, 2006)

3.3.2 Estudio de la variación de voltaje (Barrido de voltaje) en la aplicación de campo eléctrico a emulsiones limpias (sin asfaltenos). Determinación de voltaje óptimo.

Se propone realizar un barrido de voltaje en la aplicación de campo eléctrico a emulsiones limpias (sin asfaltenos) y poder determinar el voltaje para el cual la separación de fases es óptima, es decir el valor de voltaje más eficiente para que se produzca la desestabilización y separación de las fases componentes de la emulsión. Así como también conocer el rango de aplicación de voltaje para la aplicación de campo eléctrico DC a las emulsiones asfálticas. Cada prueba se realizó tres veces para obtener mayor confiabilidad de los resultados. La formulación a ser usada será la misma que haya sido encontrada anteriormente con el barrido de HLB (Sección 3.2.2.)

Los resultados se presentarán como lo muestran las siguientes tablas, en el Apéndice IV:

Tabla 7. Modelo de tabla de reporte de porcentaje de separación de agua.

| Tiempo (min) | Separación de agua (%) | | | | |
|--------------|------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Promedio | Desv. Stand. |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Tabla 8. Modelo de tabla de reporte de porcentaje de separación de fase oleosa.

| | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| Tiempo (min) | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Promedio | Desv. Stand. |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Tiempo final | | | | | |

Tabla 9. Modelo de tabla de reporte del cambio de temperatura al inicio y fin de la aplicación de campo eléctrico.

| | Temperatura (grados C) | | | | |
|----------------|------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| Tiempo (min) | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Promedio | Desv. Stand. |
| Tiempo inicial | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Tiempo final | | | | | |

Tabla 10. Modelo de tabla de reporte de la separación de fase oleosa para cada voltaje aplicado.

| Voltaje (kv) | Separación de fase oleosa promedio (%) | Desv. Stand. |
|--------------|--|--------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Los voltajes aplicados se deben mantener constantes desde el inicio del estudio. Se determinó el valor del mayor voltaje que se pueda mantener constante desde el inicio. Las pruebas duraron ciento veinte (120) minutos o dos (2) horas. La tabla 7 muestra el porcentaje de separación de agua a medida que transcurre el tiempo, se pretende realizar una gráfica porcentaje de separación de agua en función del tiempo para analizar su comportamiento. La tabla 8 muestra el porcentaje de separación de fase oleosa medida al final de la aplicación de campo eléctrico; esta lectura se debe realizar al final luego de la aplicación de campo eléctrico para que se pueda tener una buena lectura en la interfase de la fase oleosa clarificada luego del reposo. El reposo de la emulsión luego de la desestabilización electrostática no contribuye a la separación posterior de sus fases (De Almeida y Rodríguez, 2006). En la tabla 9 se reporta las lecturas inicial y final de

la temperatura, para observar si existe algún cambio debido a la aplicación de campo eléctrico. Estas tres (3) tablas se registraron a cuatro (4) valores de voltajes distintos. La tabla 10 muestra como se deben reportar los resultados de acuerdo a la separación de fase oleosa promedio para cada voltaje, se pretende graficar estos valores para determinar el voltaje óptimo en conjunto con el análisis de la tabla 7.

3.3.3. Estudio de la Variación de contenido de asfaltenos (Barrido de asfaltenos) a un voltaje constante.

Luego de obtener el voltaje óptimo para emulsiones limpias, este se usó como constante para la aplicación de campo eléctrico para emulsiones asfálticas preparadas con concentraciones variable. El contenido de asfaltenos fue variado de acuerdo a los resultados de las pruebas de dilución de asfaltenos (Sección 3.1.5. y Sección 4.2), y se uso la misma formulación encontrada anteriormente con el barrido de HLB (Sección 3.2.2.), a menos que haya alguna excepción.

Los resultados se deben de presentar como lo mostraron la tabla 7, la tabla 8 y lo muestra la tabla 11. Las pruebas duraron ciento veinte (120) minutos o dos (2) horas. La tabla 7 muestra el porcentaje de separación de agua a medida que transcurre el tiempo, se pretende realizar una gráfica porcentaje de separación de agua en función del tiempo para analizar su comportamiento. La tabla 8 muestra el porcentaje de separación de fase oleosa medida al final de la aplicación de campo eléctrico; esta lectura se realiza al final luego de la aplicación de campo eléctrico para que se pueda tener una buena lectura en la interfase de la fase oleosa clarificada luego del reposo. El reposo de la emulsión luego de la desestabilización electrostática no contribuye a la separación posterior de sus fases (De Almeida y Rodríguez, 2006). Estas dos (2) tablas se registraron a tres (3) valores de concentración de asfaltenos distintos, y se incluye el caso base sin asfaltenos. La tabla 11 muestra como se deben reportar los resultados de acuerdo a la separación de fase oleosa promedio para cada concentración de asfaltenos, se pretende graficar estos valores para determinar el efecto que tiene la presencia de asfaltenos sobre la separación

electrostática de la fase orgánica de la emulsión. Se pretende establecer un rango de aplicación de la desestabilización electrostática a voltaje constante para emulsiones con contenido de asfaltenos.

Tabla 11. Modelo de tabla de reporte de la separación de fase oleosa para diferentes concentraciones de asfaltenos.

| Concentración de asfaltenos (mg/ml tolueno) | Separación de fase oleosa promedio (%) | Desv. Stand. |
|--|---|---------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

3.3.4. Estudio de Variación de voltaje (Barrido de voltaje) para un contenido de asfaltenos constante.

Este estudio consiste en la aplicación de campo eléctrico DC haciendo una variación de voltajes a emulsiones asfálticas con cierto contenido de asfaltenos constante. Este contenido de asfaltenos es el menor valor de las concentraciones estudiadas en la sección anterior 3.3.3 o en el caso que se haya encontrado alguna concentración de asfaltenos que produzca la máxima desestabilización electrostática se uso esta como constante en este estudio. Cada voltaje aplicado se debe mantener constante desde el inicio del estudio.

Los resultados se presentaron como lo mostraron la tabla 7, la tabla 8 y la tabla 10. Las pruebas duraron ciento veinte (120) minutos o dos (2) horas. La tabla 7 muestra el porcentaje de separación de agua a medida que transcurre el tiempo, se pretende realizar una gráfica del porcentaje de separación de agua en función del tiempo para analizar su comportamiento. La tabla 8 muestra el porcentaje de separación de fase oleosa medida al final de la aplicación de campo eléctrico; esta lectura se realiza al final luego de la aplicación de campo eléctrico para que se pueda tener una buena lectura en la interfase de la fase oleosa clarificada luego del reposo. El reposo de la emulsión luego de la

desestabilización electrostática no contribuye a la separación posterior de sus fases (De Almeida y Rodríguez, 2006). Estas dos (2) tablas se registraron a tres (3) valores de voltaje distintos. La tabla 10 muestra como se debe reportar los resultados de acuerdo a la separación de fase oleosa promedio para cada voltaje aplicado, se pretende graficar estos valores para determinar el efecto que tiene el cambio de voltaje sobre la separación electrostática de la fase orgánica de la emulsión. Se pretende establecer el voltaje óptimo en la aplicación de la desestabilización electrostática para emulsiones asfálticas.

3.4. Microscopía óptica asistida por video.

Se realizaron tomas de video microscópico, donde se pudo observar el proceso de electrocoalescencia de emulsiones limpias y emulsiones asfálticas cuya concentración fue la seleccionada como concentración óptima de asfaltenos para la separación electroestática. El procedimiento que se llevo a cabo se encuentra descrito en el manual elaborado por el Ing. Químico Joel Bauer titulado “Estudio del proceso de electrocoalescencia y variación de la distribución de tamaño de gotas de la fase dispersa en emulsiones agua-crudo”, anexo en su Tesis Especial de Grado (2007). Los videos se encuentran incluidos como anexos.

CAPITULO IV

ANALISIS DE DATOS Y DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACION DE LA MUESTRA DE CRUDO:

4.1.1. Gravedad API.

Se dispuso de un cilindro graduado y se lleno con muestra de crudo hasta su medida máxima (100 ml). Se introdujo el hidrómetro seleccionado de manera previa y convenientemente, pero este no se sumergía debido a lo viscoso del crudo. Se procedió a colocar el cilindro con la muestra contenida en un baño térmico a 100°F (37,77°C). Con el hidrómetro adecuado la lectura al sumergir este fue de 17,6°API @100°F. Por medio de tablas de conversión se procede a corregir esta lectura para reportarla a 60°F (15,5°C). Las tablas de conversión corresponden a la A.S.T.M. D1250 el cual presenta tablas de corrección por temperatura de la propiedad de gravedad API de crudos para reportarla de manera estandarizada a 60°F, específicamente se trabajo con la tabla 5A6A. Luego por medio de una interpolación lineal se encontró el valor correspondiente a 60°F.

La Figura 24 es un extracto de la tabla de conversión que reporta valores corregidos a 60°F y muestra el valor correspondiente para la lectura realizada con el hidrómetro, la gravedad API de la muestra de crudo corregida a 60°F es 15,5°API, este es un valor interpolado ya que no existía la conversión directa para 17,6 (lectura del hidrómetro).

| | °API | | | |
|-------|------|------|------|------|
| 100°F | 17 | 17.5 | 17.6 | 18 |
| | 14.9 | 15.4 | 15.5 | 15.9 |

El valor 100°F en la primera columna está etiquetado como "temperatura de referencia". El valor 17.6 en la fila superior de la tercera columna está etiquetado como "lectura del hidrómetro@100 F". El valor 15.5 en la fila inferior de la tercera columna está etiquetado como "valor interpolado".

Figura 24. Extracto de tabla 5A6A de la norma A.S.T.M. D1250

4.1.2. Determinación del porcentaje promedio en peso de asfaltenos de acuerdo a la información recopilada.

Suministrada la información de dos fuentes (Apéndice I): Información de pozos del Centro de Análisis PDVSA-San Tomé y Trabajo de Pasantía de la Lic. Geoquímico Vanessa Quero en PETROUCV, el cual se obtuvo 9,27% p/p y 7,47% p/p de asfaltenos respectivamente, que promediados aritméticamente resulta un porcentaje de asfaltenos teórico de 8,37 % p/p.

4.1.3. Determinación del porcentaje en peso de asfaltenos experimentalmente.

A través de la ecuación 14, se determina el porcentaje en peso de asfaltenos en la muestra de crudo, donde el peso de la muestra de crudo fue 759,178 gr. y el peso total de todos los asfaltenos extraídos fue de 60,025gr, entonces el porcentaje de asfaltenos viene dado por la siguiente expresión:

$$\%asf = \frac{60,025gr}{759,178gr} * 100\% = 7,906\% p / p$$

El porcentaje en peso de asfaltenos en la muestra de crudo difiere del porcentaje de asfaltenos investigado en 0,464% y se encuentra dentro del margen $\pm 1\%$. Esto implica que el proceso de extracción de asfaltenos fue correcto y eficiente.

4.2. PRUEBAS DE DILUCION DE ASFALTENOS.

Los asfaltenos extraídos fueron pulverizados previamente usando un mazo y un mortero.

Las siguientes pruebas de dilución fueron realizadas para determinar el rango de estudio en el barrido de concentración de asfaltenos:

4.2.1. Prueba 1: Agitación manual.

Se propuso usar 50ml de Tolueno en un beaker de 300ml, luego se procedió diluir asfaltenos miligramo a miligramo hasta que dejara de ser soluble. Al momento que dejase de ser soluble, se reportaría cuantos gramos de asfaltenos habían sido añadidos para determinar la máxima solubilidad a la que se pudiese llegar. La agitación se realizó manualmente con un agitador o varilla de vidrio por 15 min.

Este método fue descartado porque no se obtenía asfaltenos bien diluidos, se probó obtener 4000mg de asfaltenos diluidos en 50ml de tolueno que es equivalente a 80mg/ml de tolueno y representa alrededor de 1% p/p de asfaltenos, (cálculo de porcentaje que se verá mas adelante), pero esta mezcla no quedaba bien diluida como para ser manipulada en la preparación de emulsiones asfálticas

4.2.2. Prueba 2. Agitación asistida por agitador mecánico o de aspas.

Esta prueba consistió en usar un agitador mecánico, como se muestra en la figura 26.



Figura 25. Dilución usando un agitador mecánico de aspas.

Se realizaron tres pruebas previas agitadas por un periodo de 2 horas:

- 2000 mg/12,5ml tolueno.
- 3000 mg/12,5ml tolueno.
- 4000 mg/12,5ml tolueno.

Los resultados de estas tres pruebas fueron visualmente muy viscosos como para poder usarlos en la preparación de emulsiones asfálticas. Esta prueba fue descartada

4.2.3. Prueba 3. Agitación asistida por agitador magnético.

Esta prueba consistió en usar un agitador magnético para la dilución de los asfaltenos, de esta manera además se podría tapar el frasco o beaker donde se prepare la disolución, luego de la agitación se procedería a almacenarla refrigerada para que no este expuesta a temperatura ambiente y de esta manera garantizar que no se evapore el aromático usado como solvente. La evaporación del aromático podría llevar a concentrar cada vez más la solución. La figura 28 muestra el agitador magnético usado para las diluciones.



Figura 26. Dilución usando un agitador magnético.

Para la prueba se usó un tiempo mínimo de agitación de 1 hora. Las concentraciones de asfaltenos fueron las siguientes:

- 500 mg/12,5ml tolueno.
- 1000 mg/12,5ml tolueno.
- 1500 mg/12,5ml tolueno.
- 2000 mg/12,5ml tolueno.

Todas estas pruebas tuvieron éxito, el resultado fue una disolución bien fluida y poco viscosa con el cual se pueden preparar las emulsiones asfálticas. Luego de la agitación, estas disoluciones fueron almacenadas tapadas en la nevera y se recomienda guardarlas por un periodo no mayor a 2 semanas.

Por comodidad y practicidad para el manejo de datos se presenta la siguiente tabla de equivalencia de estas concentraciones, donde los valores de la columna C1 son equivalentes a los de la columna C2:

Tabla 12. Equivalencia de concentraciones de asfaltenos disueltos en tolueno.

| Equivalencia de concentraciones de asfaltenos | |
|---|-----------------------|
| C1 | C2 |
| 40 mg/mlTolueno | 500 mg/12,5mlTolueno |
| 80 mg/mlTolueno | 1000 mg/12,5mlTolueno |
| 120 mg/mlTolueno | 1500 mg/12,5mlTolueno |
| 160 mg/mlTolueno | 2000 mg/12,5mlTolueno |

Se definió la concentración de 160mg/ml tolueno como la mayor concentración soluble en tolueno para efectos prácticos de establecer un rango de estudio en la preparación de las emulsiones asfálticas, por esta misma razón será descartada para la realización de las pruebas de barrido de concentración de asfaltenos por representar un límite superior de concentración. Entonces las concentraciones de asfaltenos seleccionadas para el estudio de barrido de asfaltenos en las pruebas de desestabilización electrostática a voltaje constante (ver Sección 3.3.3) serán:

- Caso Base: concentración 0mg/mlT (muestra limpia sin asfaltenos)
- 40 mg/mlTolueno.

- 80 mg/ml Tolueno.
- 120 mg/ml Tolueno.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE SURFACTANTES NO IÓNICOS. BARRIDO DE HLB.

Este estudio consistió en la observación del comportamiento de separación de fases de emulsiones sometidas a centrifugación. Las emulsiones contenían: 50% de agua, 28% de parafina, 20% de tolueno, y 2% de mezcla de surfactantes no iónicos (Span 80 y Arkopal N-100). La composición de la mezcla de surfactantes fue variado en diferentes proporciones, obteniéndose diferentes valores de HLB para cada mezcla de surfactantes. La tabla 13 muestra los valores de HLB a ser estudiados así como la correspondiente proporción de mezcla de surfactantes.

Tabla 13. Diferentes proporciones de surfactantes y sus respectivos HLB.

| Span 80 (%) | Arkopal N100 (%) | HLB |
|-------------|------------------|------|
| 85 | 15 | 5,65 |
| 80 | 20 | 6,1 |
| 75 | 25 | 6,55 |
| 70 | 30 | 7 |

Se procedió a centrifugar muestras de 15 ml de emulsión de cada HLB, se le determinó el porcentaje de fase oleosa u orgánica separada así como el agua separada. La tabla 14 muestra estos resultados.

Tabla 14. Resultados de separación de la fase acuosa para diferentes HLB por medio de la centrifugación.

| HLB | Separación de fase acuosa |
|------|---------------------------|
| 5,65 | NO |
| 6,1 | NO |
| 6,55 | CASI IMPERCEPTIBLE |
| 7 | SI (trazas) |

A continuación la figura 27 muestra el comportamiento gráfico de la separación de la fase oleosa en función del HLB estudiado.

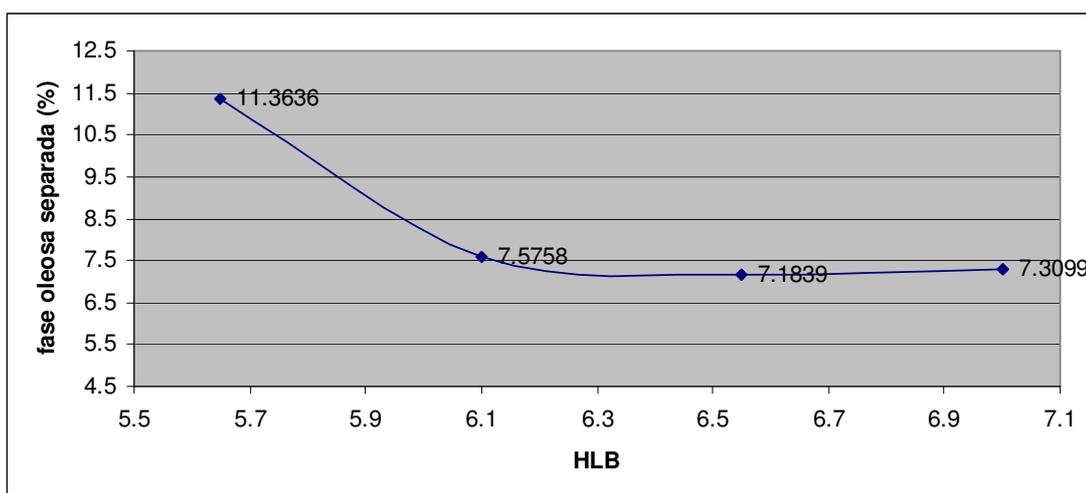


Figura 27. Gráfico del porcentaje de la fase oleosa separada para diferentes HLB, obtenidos de la centrifugación de emulsiones 50% de agua, 28% 48% de fase orgánica, y 2% de mezcla de surfactantes no iónicos (Span 80 y Arkopal N-100).

La graficación de los resultados obtenidos permite observar que la curva del barrido de HLB presenta un pequeño cambio de tendencia (pico mínimo) que es notorio cuando el HLB es igual a 6,55, siendo este número el valor para el cual se obtiene la menor cantidad de fase oleosa separada o clarificada. Además que casi no se distingue la separación de agua para esta mezcla de surfactante con esta proporción de Span80/N100 de 75/25. Este valor de HLB representa la máxima estabilidad encontrada para la formulación propuesta.

4.4. COMPARACIÓN DE SEPARACION DE FASES POR CENTRIFUGACION PARA EMULSIONES AL 30% Y 50% AGUA.

Este estudio consistió en preparar dos emulsiones con la misma formulación pero con diferentes fracciones de agua. La tabla 15 muestra la formulación para cada una de las

fracciones de agua escogidas. Luego se procedió a centrifugar 15 ml de cada tipo y se observaron las fases separadas luego de la centrifugación que fue aplicada por 30 min., a 2500 rpm.

Tabla 15. Formulación de emulsiones para fracciones de agua al 30% y al 50%.

| | Emulsión al 30% de agua | Emulsión al 50% de agua |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Parafina (%) | 48 | 28 |
| Tolueno (%) | 20 | 20 |
| Surfactantes (%) | 2 | 2 |
| HLB | 5,65 | 5,65 |

La tabla 16 muestra la separación de fases en función del volumen para estas emulsiones centrifugadas.

Tabla 16. Resultados de separación de fases para diferentes fracciones de agua por medio de la centrifugación.

| Porcentaje de agua (%) | HLB | Vol. fase oleosa separada (ml) | Fase oleosa separada (%) | Separación de fase acuosa |
|------------------------|------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 50 | 5,65 | 0,81 | 1,2 | NO |
| 30 | 5,65 | 0,54 | 1,13 | NO |

El porcentaje de fase oleosa separada fue determinado respecto a la composición de fase orgánica respectiva, es decir sobre 68% de fase orgánica la de 30% de agua y sobre 48% de fase orgánica la de 50% de agua. En estos resultados se puede observar que una emulsión preparada al 30% de agua es un poco mas estable que una preparada al 50% de agua, debido a que la primera separa menos fase oleosa que la segunda. Ninguna de estas emulsiones presentó separación de agua luego de la centrifugación.

4.5. FORMULACION FINAL DE EMULSIONES SELECCIONADA.

Fue seleccionada la fracción volumétrica de agua a utilizar en 30% debido al resultado del estudio anterior (Sección 4.4), además es una fracción convenientemente para que no produzca problemas en el estudio de aplicación de campo eléctrico; al hacer una prueba previa de desestabilización electrostática con 50% de agua esta me producía un

corto por lo conductivo que era el medio dada la cantidad de agua que contenía, luego el voltaje se caía a 0kv y era muy difícil mantener el voltaje deseado. Debido a que fue cambiado el porcentaje de agua, se buscó un HLB que separara la misma cantidad de fase oleosa que la composición de mezcla de surfactante seleccionado previamente (Sección 4.3), de la misma manera usando la centrifugación como recurso de desestabilización. La mezcla de surfactante que me produce este mismo porcentaje de separación de fase oleosa con 30% de agua es Span80/N100: 82/12. La tabla 17 muestra el resultado de esta nueva formulación final y adicionalmente el resultado de la separación de fases a través de la centrifugación de 15 ml de emulsión por treinta (30) minutos.

Tabla 17. Formulación final seleccionada y resultado de la centrifugación.

| | |
|---|------|
| Porcentaje agua (%) | 30 |
| Porcentaje Parafina (%) | 48 |
| Porcentaje Tolueno (%) | 20 |
| Porcentaje Surfactantes (%) | 2 |
| Fracción Span80 sobre la mezcla de surfactante | 82 |
| Fracción Arkopal N100 sobre la mezcla de surfactante | 12 |
| HLB | 5,92 |
| Vol. Fase oleosa sep. después de centrifugar (ml) | 0,51 |
| Fase oleosa sep. Después de centrifugar (%) | 7,83 |
| Fase acuosa sep. Después de centrifugar (%) | 0 |

4.6. DEMOSTRACIÓN DE LA SEPARACIÓN DE FASES DE LA EMULSIÓN PREPARADA POR MEDIO DE LA SEGREGACIÓN GRAVITACIONAL.

Se realizó el estudio de una muestra de 15ml de emulsión preparada al 30% de agua con un HLB = 5,92. Esta se dejó en reposo por 28 días y fue estudiada su separación de

fases mediante la desestabilización gravitacional. En el Apéndice II se muestran los resultados en tabla de esta prueba.

Las figuras 28 y 29 muestran el comportamiento de las fases separadas a través del tiempo.

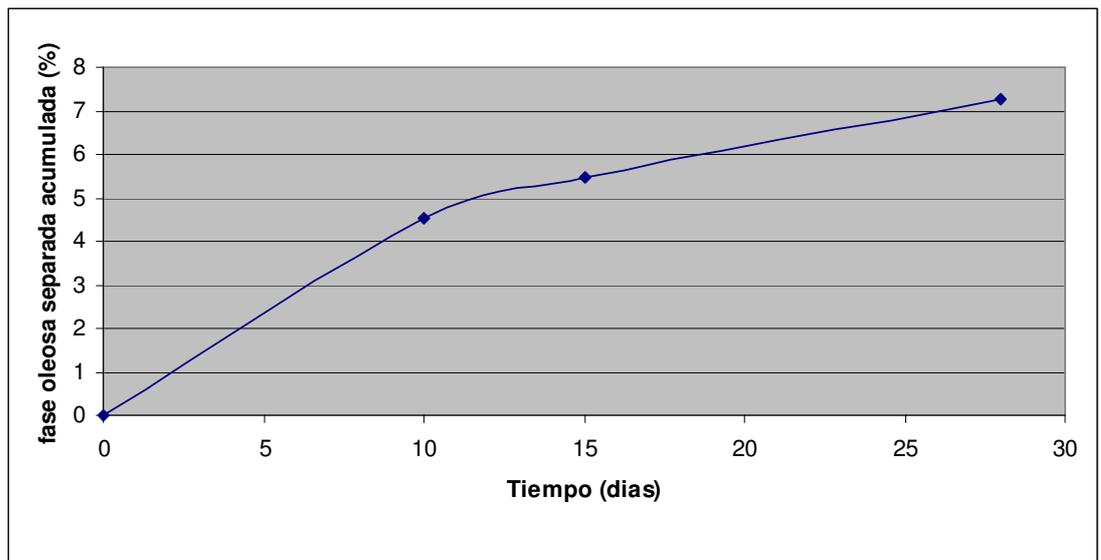


Figura 28. Aumento de la fase oleosa por segregación gravitacional, a través del tiempo.

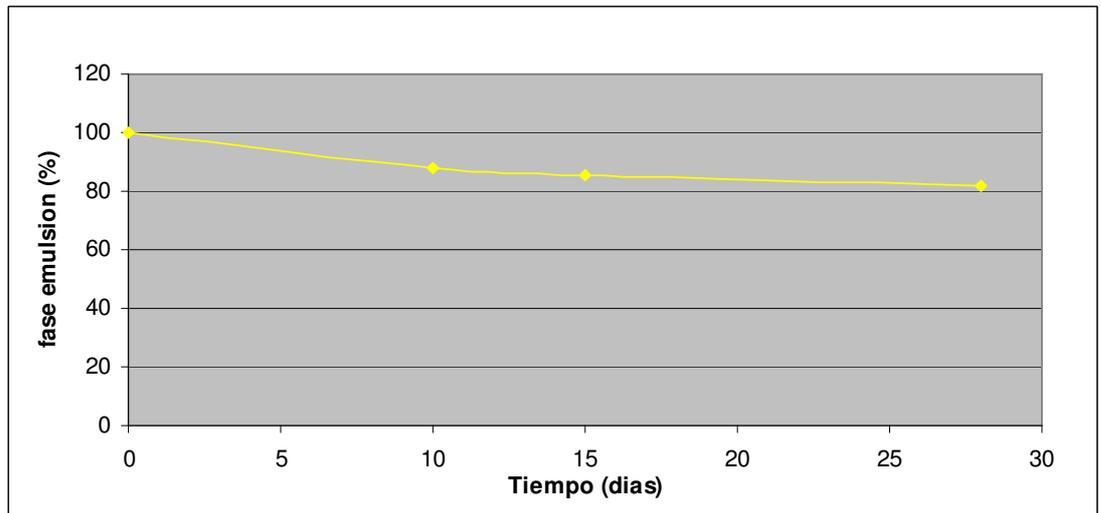


Figura 29. Reducción de la fase emulsion por segregación gravitacional a través del tiempo.

Los resultados obtenidos indican que existe un aumento de la fase oleosa separada si se es dejada la emulsión en reposo a través del tiempo, obteniéndose alrededor de 7% de fase orgánica clarificada con respecto al volumen total de la emulsión. Este porcentaje fue calculado con respecto al volumen total de la emulsión para poder obtener la reducción de la fase emulsión mediante sustracción del porcentaje de fase orgánica separada. Por medio de la figura 29 se puede ver que la fase emulsión presenta una disminución de su volumen a través del tiempo.

4.7. DETERMINACIÓN DE LA EQUIVALENCIA EN TIEMPO DE LA DESESTABILIZACIÓN NATURAL (GRAVITACIONAL) Y LA DESESTABILIZACIÓN CENTRIFUGADA DE EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS).

Se preparó una emulsión al 30% de agua, 20% de tolueno y un HLB = 5,92. Se le hizo una comparación de dos tipos de estudios: volumen clarificado de sus fases componentes por medio gravitacional y por medio de la centrifugación, esto para establecer el tiempo que dura la emulsión en la centrifuga y cuanto equivale en días este tiempo de centrifugación. El volumen de estudio es el mismo e igual a 15 ml. El tiempo de centrifugación es de treinta (30) minutos y el estudio de separación gravitacional de fases fue realizado por 28 días a temperatura ambiente. Las tablas 18 y 19 muestran los resultados de esta prueba.

Tabla 18. Reporte de la separación de fases oleosa y acuosa a través del tiempo por segregación gravitacional.

| Tiempo (días) | 0 | 10 | 15 | 28 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|
| Vol. Fase oleosa sep. acumulada (ml) | 0 | 0,68 | 0,81 | 1,09 |
| Vol. Fase acuosa sep. Acumulada (ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 19. Reporte de la separación de fases oleosa y acuosa por medio de centrifugación.

| Centrifugación | No | Si |
|---|-----------|-----------|
| Vol. fase oleosa sep. Acumulada (ml) | 0 | 0,51 |
| Vol. fase acuosa sep. Acumulada (ml) | 0 | 0 |

La figura 30 muestra gráficamente el volumen de fase orgánica separada por medio gravitacional en función del tiempo y la tendencia que sigue esta desestabilización.

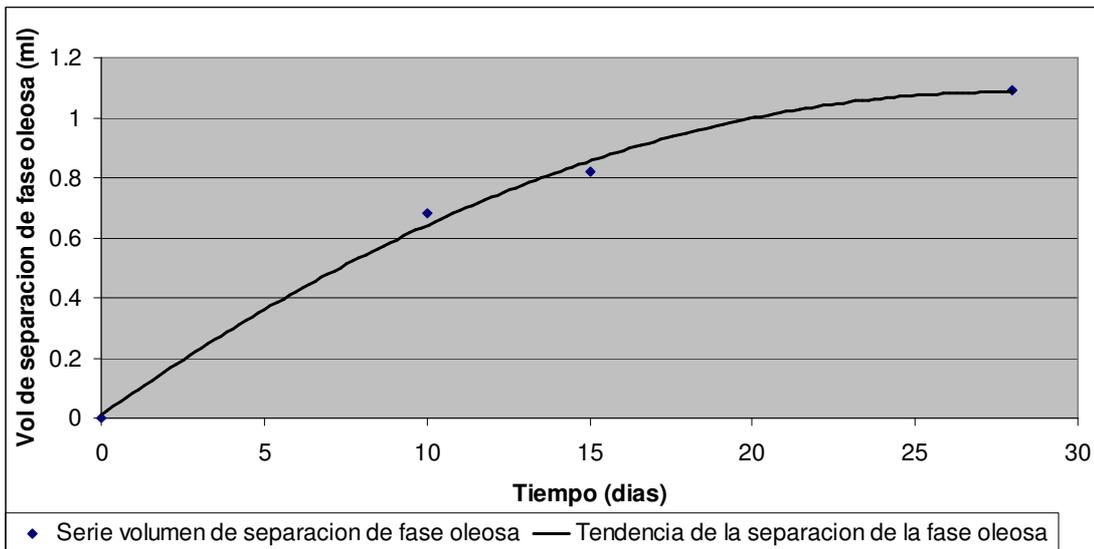


Figura 30. Tendencia de la separación de la fase oleosa de una emulsión limpia (sin asfaltos al 30% de agua y un HLB=5,92 a través del tiempo.

El volumen separado de fase oleosa a través de 28 días sigue una tendencia del tipo polinómica de grado 2 que viene dada por la expresión 18, y tiene un R^2 igual a 0,9953, se considera que la tendencia tiene buena dispersión de los datos.

$$y = -0.0014x^2 + 0.0772x + 0.0085 \quad (18)$$

Esta ecuación determina el comportamiento del volumen separado de fase orgánica por 28 días, donde la variable independiente x representa el tiempo en días y la variable dependiente y representa el volumen de fase oleosa separada en este periodo de tiempo. Si se evalúa el volumen de fase oleosa separada durante la centrifugación por 30 min, en la ecuación 19, se obtiene una medida aproximada de la equivalencia de estos 30 min de centrifugación en días. Esto es:

$$0.5172 = -0.0014x^2 + 0.0772x + 0.0085$$

El resultado del despeje de la variable independiente para $y = 0,5172$ ml, es de 7,65 días. Esto significa que aplicar centrifugación por treinta (30) minutos a una emulsión con las características presentes de 30% de agua, 20% tolueno y un HLB = 5,92 es equivalente a que la misma cantidad de esta emulsión que fue centrifugada permanezca en reposo aproximadamente por 7 días y medio, a temperatura ambiente. Este resultado varía de acuerdo a las variables de formulación de la emulsión.

4.8. ESTUDIO DE COMPARACIÓN ENTRE LA DESESTABILIZACIÓN CENTRIFUGADA DE EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS) Y EMULSIONES ASFALTÉNICAS.

Para este estudio se prepararon 4 tipos de emulsiones, estas compartirán la misma formulación a diferencia del contenido de asfaltenos; esto es 30% de agua, 20% de tolueno, 48% de parafina y 2% de surfactantes con un HLB = 5,92. La variación del contenido de asfaltenos fue la misma que la determinada en la Sección 4.2. En este estudio se compararon los volúmenes de fases separadas de emulsiones limpias (sin asfaltenos) y emulsiones asfálticas por medio de treinta (30) minutos de centrifugación. La tabla 20 muestra los resultados de esta prueba.

Tabla 20. Comparación del volumen de fase oleosa separado por centrifugación entre emulsiones limpia y asfálticas.

| | Concentración asfaltenos (mg/mlTolueno) | | | |
|-----------------------------------|--|------|------|------|
| | 0 (limpia) | 40 | 80 | 120 |
| Vol. fase oleosa sep. (ml) | 0,51 | 0,39 | 0,26 | 0,26 |
| Vol. fase acuosa sep. (ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fase oleosa separada (%) | 5,07 | 3,87 | 2,58 | 2,58 |
| Fase acuosa separada (%) | 0 | 0 | 0 | 0 |

El porcentaje de fase oleosa separada fue calculada a través de la siguiente expresión:

$$\% \text{ fase_oleosa_sep.} = \frac{\text{Vol.fase_oleosa_sep}}{\text{Vol.emulsion} * \text{fraccion_organica}} * 100\% \quad (19)$$

En el Apéndice III es mostrado un ejemplo del cálculo del porcentaje de fase oleosa separada por centrifugación para una concentración de asfaltenos de 40mg/ml tolueno. Donde la *fracción _ orgánica*, viene dada por la fracción de parafina más la fracción de aromático que contiene la emulsión. De esta manera se obtiene una medida de la separación de dicha fase con respecto a su contenido original

$$\% \text{ fase_oleosa_sep. @ 40mg / mlT} = \frac{0.3947\text{ml}}{15\text{ml} * 0.68} * 100\% = 3.87\% \quad (20)$$

La figura 31 muestra gráficamente el comportamiento de la fase oleosa separada por centrifugación para cada caso.

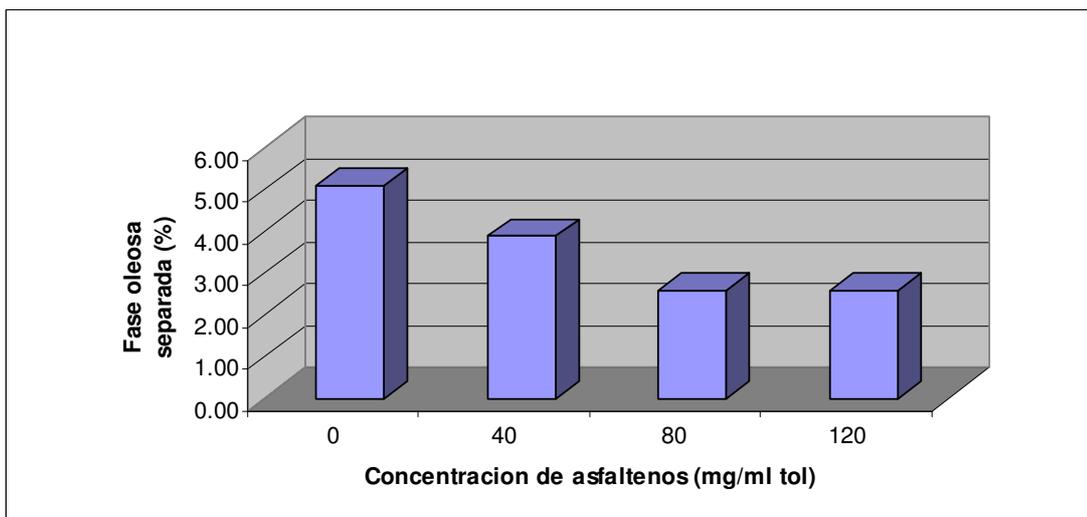


Figura 31. Comportamiento de la fase oleosa separada por centrifugación en función de la concentración de asfaltenos

Los resultados de la tabla 20 y de la figura 31 permiten ver como una emulsión se vuelve más estable en presencia de asfaltenos y a medida que aumenta progresivamente su concentración en las emulsiones hasta 80mg asf/ml tol, a partir de entonces no se observan cambios significativos en la separación de fase oleosa. Si se establece el volumen de fase oleosa separada para una emulsión limpia con estas características de

formulación como la máxima cantidad que se pueda separar por medio de la centrifugación, entonces se puede determinar que tan estable se puede volver la emulsión de acuerdo al contenido de asfaltenos. De esta manera se puede decir que la emulsión a 40mg asf/ml tolueno es aproximadamente 1,315 veces más estable con respecto a la emulsión limpia, y la emulsión a 80mg asf/ml tolueno es aproximadamente 1,968 veces más estable con respecto a la emulsión limpia. La emulsión a 120mg asf/ml tolueno no presentó algún cambio observable con respecto a la de 80 mg asf/ml tolueno. La manera en que fue determinada la fase oleosa separada puede ser vista en el Apéndice II. La figura 32 muestra las fases separadas luego de la centrifugación.

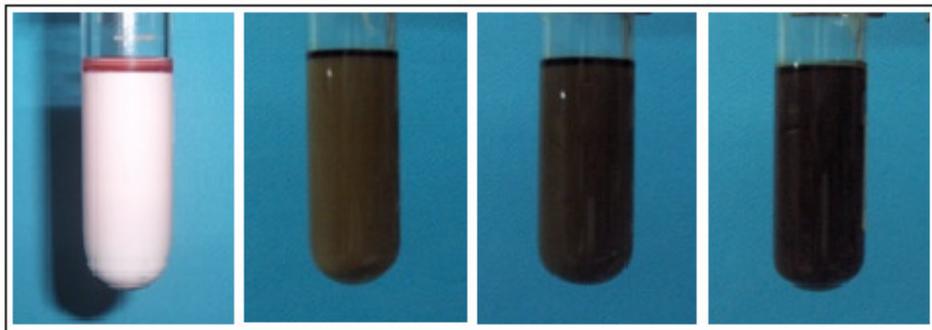


Figura 32. Fases oleosas separadas en emulsiones con diferentes concentraciones de asfaltenos. De izquierda a derecha: 0 mg asf/ml tol, 40 mg asf/ml tol, 80 mg asf/ml tol y 120 mg asf/ml tol

4.9. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE VOLTAJE EN LA APLICACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO A EMULSIONES LIMPIAS (SIN ASFALTENOS). DETERMINACIÓN DE VOLTAJE ÓPTIMO.

Se realizó un barrido de voltaje en la aplicación de campo eléctrico a emulsiones limpias (sin asfaltenos). La formulación de estas emulsiones es como la descrita en la Sección 4.5. El máximo voltaje el cual se pudo mantener constante desde el inicio de la aplicación del campo eléctrico DC fue 3.6 kv, esto fue determinado por pruebas preliminares. A partir de este voltaje se realizó el barrido para tres valores menores adicionales de voltaje. Los voltajes escogidos en orden ascendente son: 1,9 kv, 2,4 kv,

2,8 kv y 3,6 kv. Las figuras 33 y 34 muestran los resultados gráficos de este estudio durante la aplicación de campo eléctrico por dos (2) horas cada voltaje.

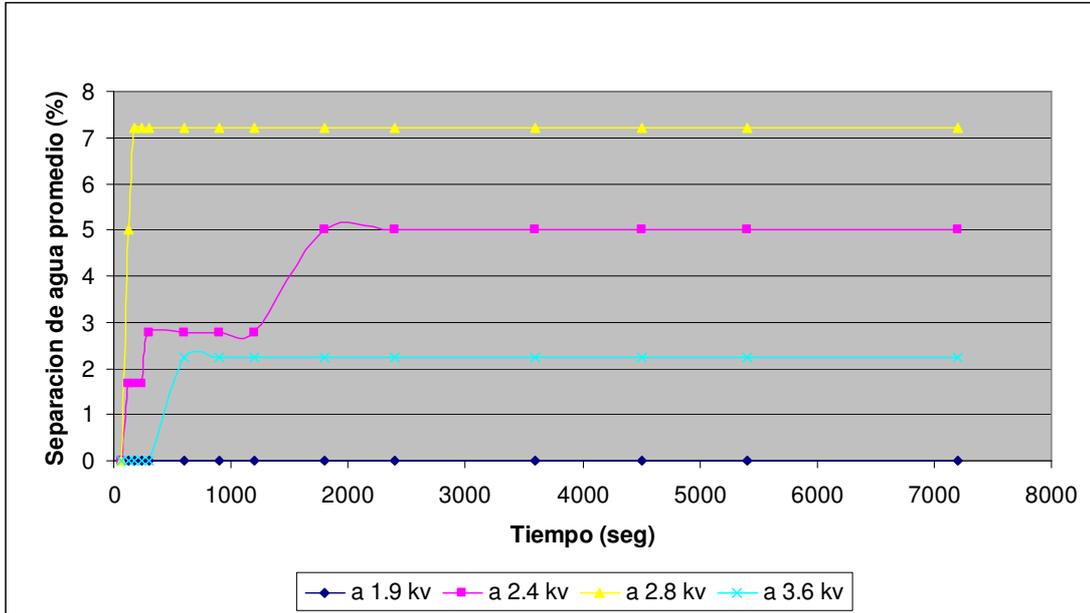


Figura 33. Gráfico de separación de fase acuosa de emulsiones limpias a través del tiempo con aplicación de campo eléctrico DC a diferentes voltajes.

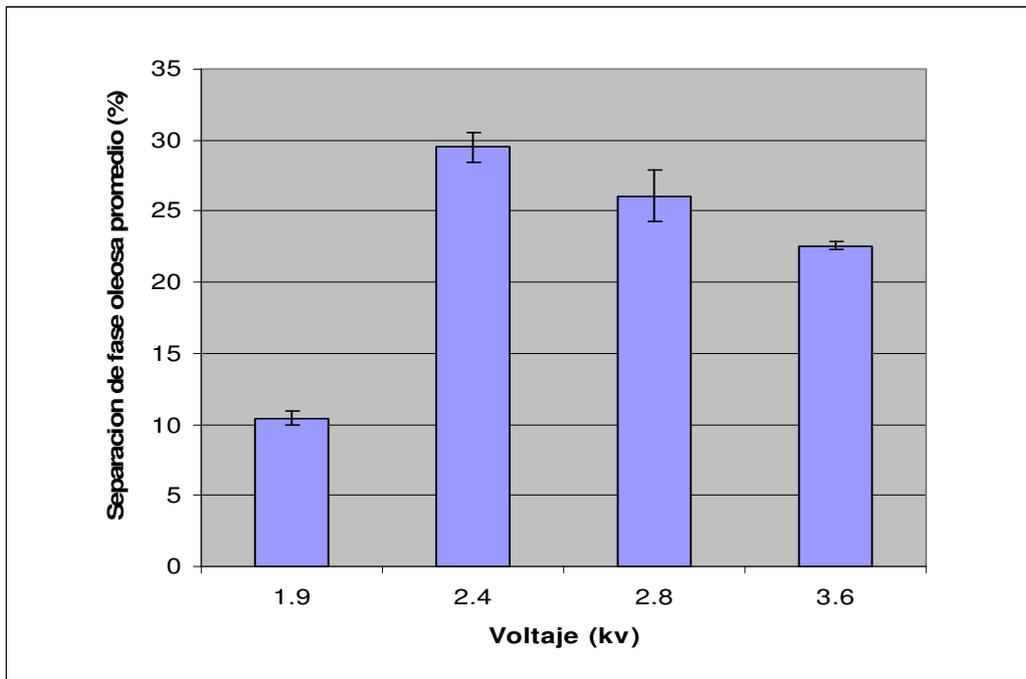


Figura 34. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones limpias a través del tiempo con aplicación de campo eléctrico a diferentes voltajes.

La figura 33 muestra el comportamiento de la separación de la fase acuosa con la aplicación de campo eléctrico a diferentes voltajes por un periodo.

La aplicación de 1,9 kv no arrojó resultados de separación de fase acuosa. Se debe acotar que en este caso donde el agua separada es cero, esto se refiere a la lectura del agua sedimentada que sea medible en el fondo de la celda, para este caso si hubo coalescencia de las gotas pero no lo suficiente como para que sedimentaran, es decir estas se mantuvieron suspendidas. El voltaje que más produjo separación de agua fue 2,8kv con una desviación estándar máxima de 1,925%. En todas las curvas donde hubo separación de agua se pueden notar tres tendencias que describen tres etapas de la deshidratación electrostática. Una primera etapa casi imperceptible para las curvas a 2,4kv y a 2,8kv donde la aplicación del campo eléctrico hace que las gotas de agua se acerquen y se agrupen y puede haber coalescencia pero aun las gotas no son lo suficientemente grande como para sedimentarse. Una segunda etapa que se puede notar en todas las curvas donde ocurrió separación de agua, la cual presentan una tendencia ascendente, esto es a partir de que las gotas de agua se sedimentan en el fondo de la celda y empiezan a arrojar una lectura de separación de fase acuosa. La última etapa se puede ver cuando las curvas adquieren una tendencia horizontal, generalmente al comenzar esta fase no se separa mas cantidad de agua de la que se ha separado hasta ese momento.

La figura 34 muestra el comportamiento de la separación de la fase acuosa con la aplicación de campo eléctrico a diferentes voltajes. En este gráfico se puede notar un cambio de tendencia en las barras de ascendente a descendente mostrando un máximo a 2,4kv que representa el voltaje que produjo la mayor separación de fase oleosa.

Para determinar el voltaje óptimo se procede a deducir cual voltaje tuvo más éxito en la desestabilización electrostática, es decir cual voltaje separó mayor cantidad de fases, esto se determina a través de la expresión 21.

$$Vol.fase_emul_{@voltaje} = Vol.emulsion.inic - vol.oleoso - vol.acuoso \quad (21)$$

Donde $Vol.fase_emul_{@voltaje}$ es la cantidad de fase emulsión que queda sin separarse, a medida que este valor sea menor mas fases componentes se habrán separado; $Vol.emulsion.inic$ es el volumen de emulsión que será estudiado dentro de la celda el cual es constante e igual a 20ml, $vol.acuoso$ es la cantidad de fase acuosa separada promedio de tres ensayos al final de la aplicación del campo eléctrico y $vol.oleoso$ es la cantidad de fase oleosa separada promedio de tres ensayos al final de la aplicación del campo eléctrico. La expresión 22 muestra un ejemplo del cálculo mostrado por la expresión 21 para un voltaje aplicado de 2,8kv.

$$Vol.fase_emul_{@2.8kv} = 20ml - 2.666ml - 0.433ml = 16.901ml \quad (22)$$

La tabla 21 muestra el resultado de los cálculos de los volúmenes de la fase emulsión que queda luego de la aplicación de cada uno de los voltajes.

Tabla 21. Resultado para la determinación del voltaje óptimo.

| | Voltaje aplicado (kv) | | | |
|---------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| | 1,9 | 2,4 | 2,8 | 3,6 |
| <i>vol.acuoso (ml)</i> | 0 | 0,3 | 0,43 | 0,13 |
| <i>vol.oleoso (ml)</i> | 1 | 2,83 | 2,66 | 2,16 |
| <i>Vol.fase_emul (ml)</i> | 19 | 16,86 | 16,90 | 17,70 |

De acuerdo a estos resultados el voltaje óptimo sería aquel que mas fases componentes haya separado, en otras palabras el valor de voltaje para el cual quede menor volumen de fase emulsión luego de la aplicación del campo eléctrico. Visto de este modo, a 2,4kv y a 2,8kv se separó la mayor cantidad de fases componentes quedando, pero como a 2,8kv fue mas eficiente la desestabilización electrostática de la fase acuosa es decir fue mas rápida y se obtuvo mayor cantidad de agua, se selecciona este voltaje de

2,8kv como el voltaje óptimo para el estudio del barrido de emulsiones asfálticas que se presentará mas adelante.

Adicionalmente fue medida la temperatura inicial y final de las emulsiones mientras fue aplicado el campo eléctrico durante dos horas. La tabla 22 muestra la diferencia de temperatura promedio tomada al iniciar la aplicación del campo y al finalizar este.

Tabla 22. Reporte de la variación de temperatura durante la aplicación del campo eléctrico.

| Dif. Temp (°C) | Voltaje aplicado (kv) | | | |
|----------------|-----------------------|-----|-----|-----|
| | 1,9 | 2,4 | 2,8 | 3,6 |
| | 0,2 | 0 | 0 | 0,3 |

Todas las pruebas fueron realizadas a temperatura ambiente, el cambio de temperatura reportado en la tabla 22 se considera mínimo y se despreció para estudios posteriores.

La figura 35 muestra un ejemplo del montaje de la aplicación de la deshidratación electrostática a 1,9kv.

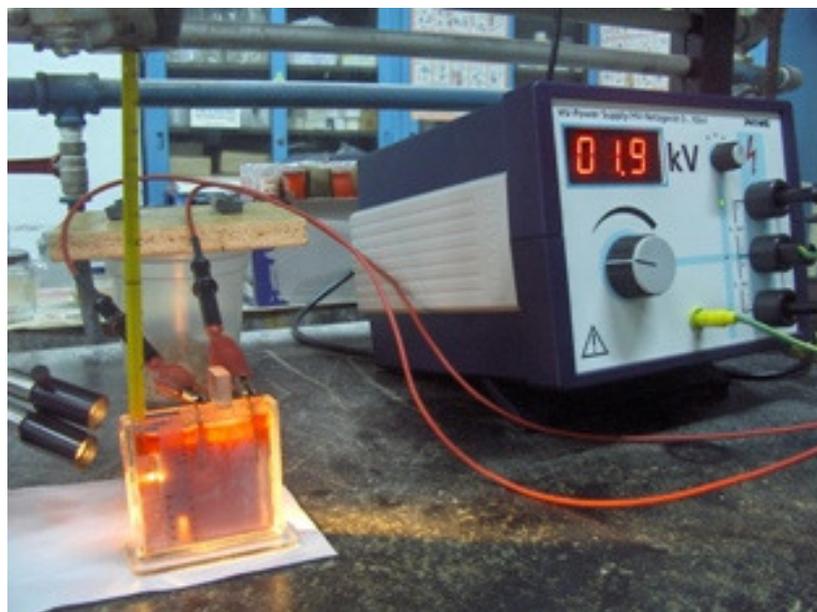


Figura 35. Montaje experimental del equipo de deshidratación electrostática.

La figura 36 muestra dentro de un círculo azul las gotas de agua suspendidas en la fase de acercamiento y coalescencia.

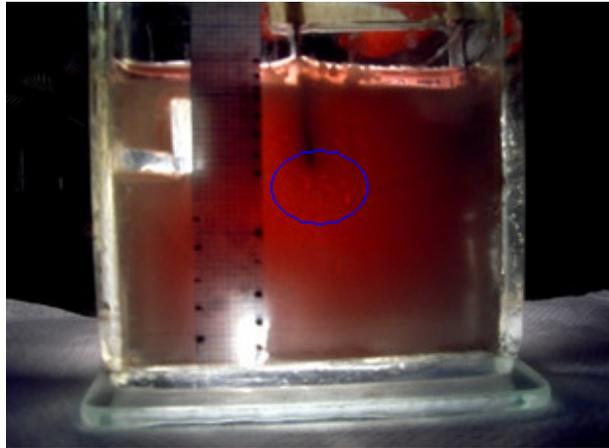


Figura 36. Gotas de agua suspendidas mientras es aplicado campo eléctrico.

La figura 37 muestra un ejemplo de una emulsión limpia separada en sus fases componentes, luego de la aplicación de campo eléctrico. En esta se puede diferenciar dos fases clarificadas, una oleosa ubicada en la parte superior de la emulsión y una acuosa ubicada en el fondo de la emulsión, además se puede ver una fase que es como una nata de color degradado y representa la fase emulsión que no fue separada y se encuentra ubicada en el medio de estas dos fases clarificadas.

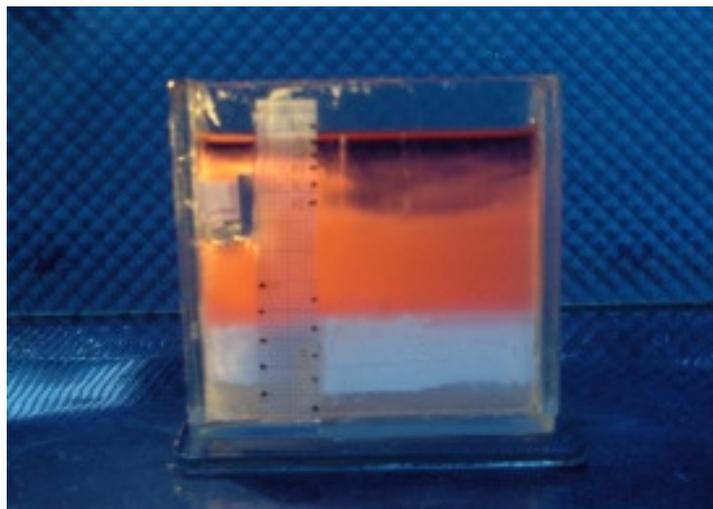


Figura 37. Emulsión separada en sus fases componentes, luego de la aplicación de campo eléctrico.

4.10. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE CONTENIDO DE ASFALTENOS (BARRIDO DE ASFALTENOS) A UN VOLTAJE CONSTANTE.

Obtenido el voltaje óptimo (2,8kv) en el estudio anterior, este fue usado como constante para la aplicación de campo eléctrico en emulsiones asfálticas preparadas con concentraciones variable. El contenido de asfaltenos fue variado de acuerdo a los resultados de las pruebas de dilución de asfaltenos (Sección 4.2), y se uso la misma formulación encontrada anteriormente (Sección 4.5). La aplicación de campo eléctrico duró dos (2) horas.

Las figuras 38 y 39 muestran gráficamente los resultados de las pruebas de deshidratación electrostáticas en función de la separación de agua y de aceite respectivamente.

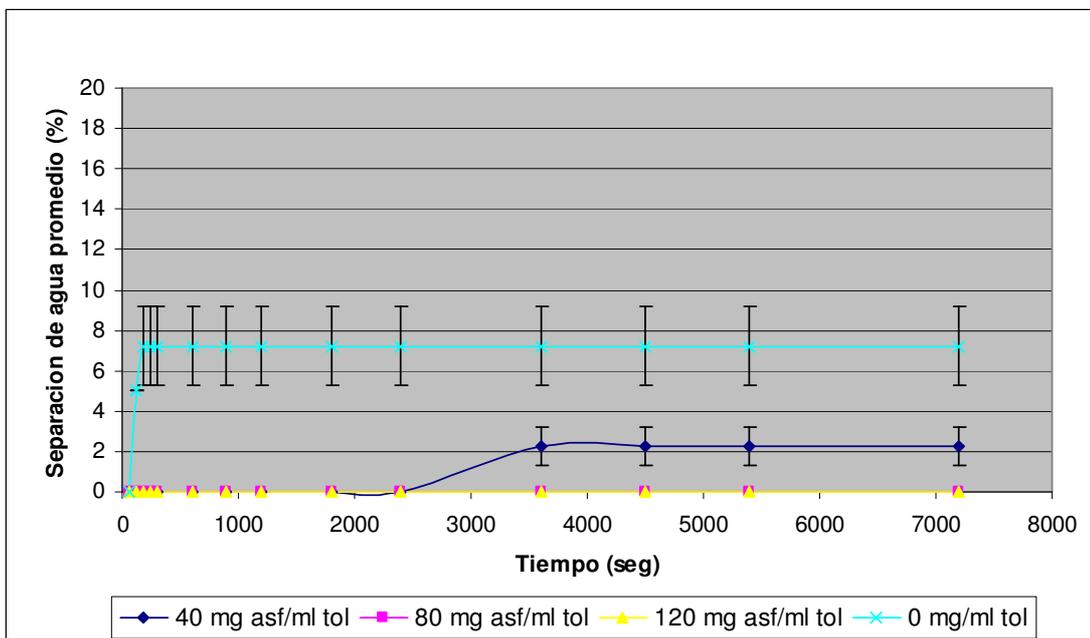


Figura 38. Gráfico del comportamiento de separación de fase acuosa de emulsiones asfálticas de concentración variable en función del tiempo aplicando campo eléctrico constante (2,8kv).

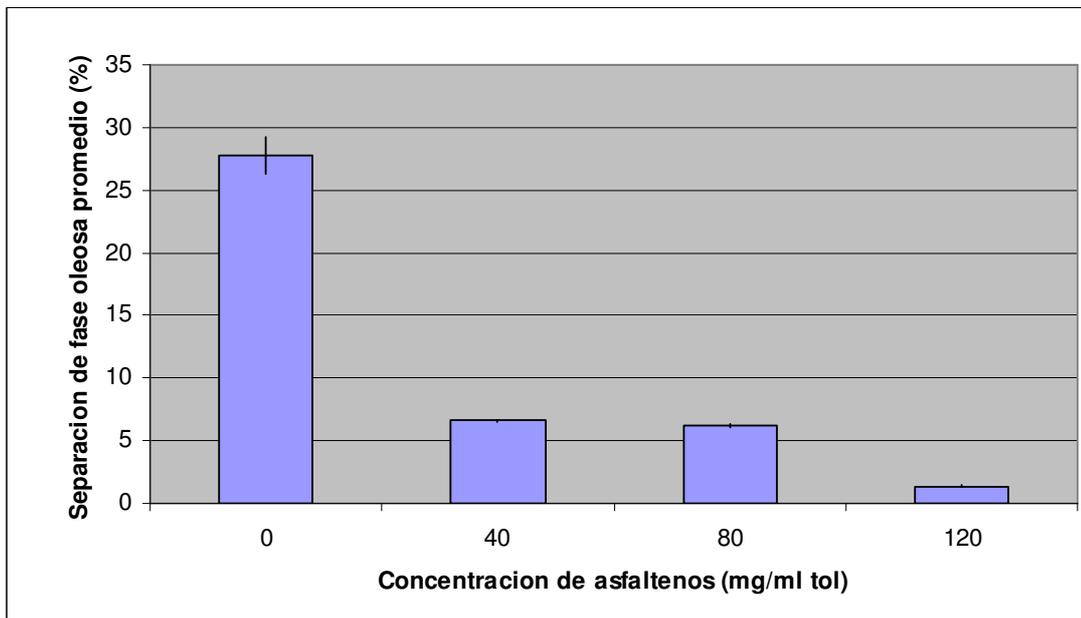


Figura 39. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones asfálticas de concentración variable con aplicación de campo eléctrico DC constante (2,8 kv).

En la figura 38 se puede ver que solo a una concentración de asfaltenos se pudo diferenciar separación de agua, esto fue con 40 mg as/ml tolueno, a concentraciones mayores de esta no se pudo observar fases de agua separada, tan solo algunas trazas de medidas que son despreciables. Se define como trazas aquellas medidas que son muy pequeñas para contabilizarlas. Como es de esperarse, la emulsión limpia o la de concentración de asfaltenos igual a cero (0) mg/ml tolueno fue la que mas separó fase acuosa. La curva de 40 mg asf/ml tolueno tiene una forma sigmoide típica de un proceso con varias etapas, que son acercamiento o agrupación de las gotas, coalescencia y sedimentación de las gotas que es cuando se comienza a ver un volumen de agua separada en el fondo de la celda.

En la figura 39 se puede ver que la presencia de asfaltenos en las emulsiones tiene un efecto de reducción de la separación electrostática de la fase oleosa bien significativo por el orden casi 20% menos si se compara la de menor concentración (40mg/ml tolueno) con respecto a la emulsión sin asfaltenos. La separación de aceite clarificado a una concentración de asfaltenos de 120mg/ml tolueno es casi nula, de hecho son casi

trazas de medidas. Se seleccionó la concentración de asfaltenos de 40mg/ml tolueno como la óptima para el próximo estudio de desestabilización, debido a que fue la concentración de asfaltenos que presentó mayor separación de fases.

La figura 40 muestra el montaje experimental para este estudio para una concentración de 80mg asf/ml tolueno.

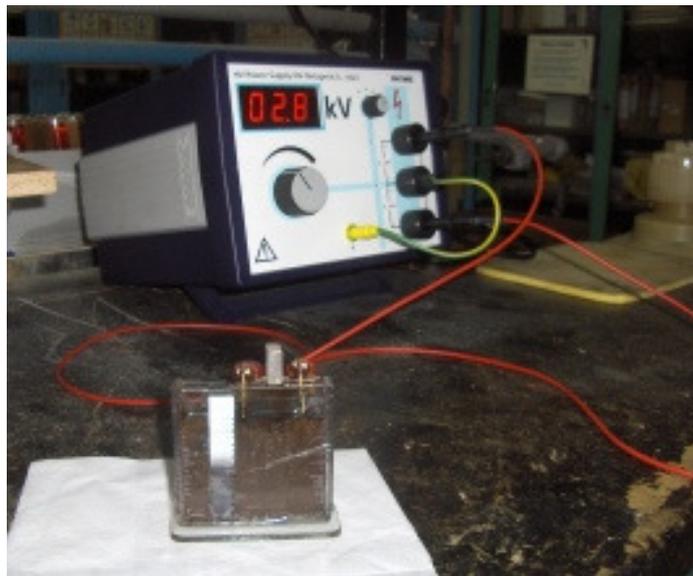


Figura 40. Montaje experimental del equipo de deshidratación electrostática en emulsiones asfálticas.

4.11. ESTUDIO DE VARIACIÓN DE VOLTAJE (BARRIDO DE VOLTAJE) PARA UN CONTENIDO DE ASFALTENOS CONSTANTE.

Obtenido la concentración de asfaltenos óptima (40mg/ml tolueno) en el estudio anterior, este fue usado como constante para la aplicación de campo eléctrico en emulsiones asfálticas para diferentes voltajes. La formulación de estas emulsiones es como la descrita en la Sección 4.5. Se tomó en cuenta las pruebas realizadas en la Sección 4.9 para la determinación del rango de voltaje a ser aplicado. El máximo voltaje el cual se pudo mantener constante desde el inicio de la aplicación del campo eléctrico DC fue de igual manera a 3,6 kv. A partir de este voltaje máximo se realizó el barrido

para dos valores menores adicionales de voltaje; el voltaje de 1,9kv fue descartado debido a lo poco eficiente que es en la deshidratación electrostática. Los voltajes escogidos en orden ascendente son: 2,4 kv, 3 kv y 3,6 kv.

En cuanto al comportamiento del volumen de agua separada en función del tiempo para la aplicación de campo eléctrico DC en esta prueba se puede decir que no se obtuvo separación alguna de la fase acuosa durante el tiempo de aplicación del campo eléctrico, para ningún voltaje. La figura 41 muestra los resultados gráficos de este estudio en función de la separación aceite, durante la aplicación de campo eléctrico por dos (2) horas cada voltaje.

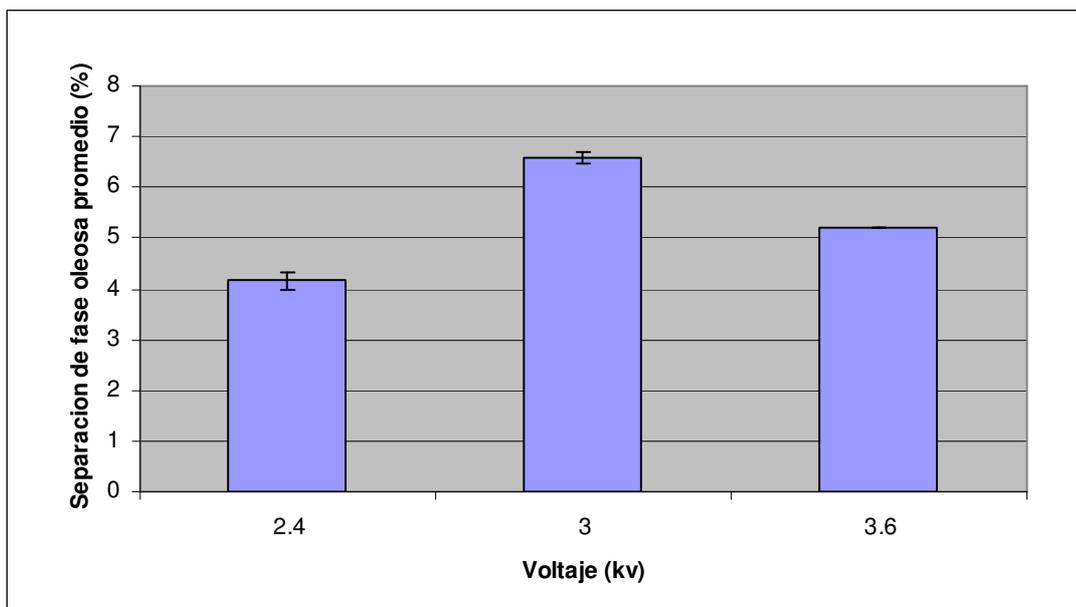


Figura 41. Gráfico de separación de fase oleosa de emulsiones asfálticas con una concentración constante (40mg asf/ml tol) aplicando diferentes voltajes.

La figura 41 muestra que existe un valor máximo de separación de fase oleosa a 3kv que representaría para este estudio el mejor voltaje aplicado en función de la separación de fases componentes, a pesar de que no haya existido separación de fase acuosa. Si se compara la separación de fase oleosa resultado a 3kv con la separación de fase oleosa del estudio anterior a 2,8kv se puede ver que separan la misma cantidad de fase

orgánica, entonces se puede decir que el voltaje óptimo para la concentración de asfaltenos que clarifica fase oleosa se encuentra en el rango de 2,8 y 3 kv.

La figura 42 muestra un ejemplo de fase oleosa clarificada en emulsiones asfálticas luego de la aplicación de 3.6 kv, se puede observar como se encuentra clarificado un pequeño volumen de fase oleosa de color oscuro en la superficie de la emulsión de color marrón mas claro.

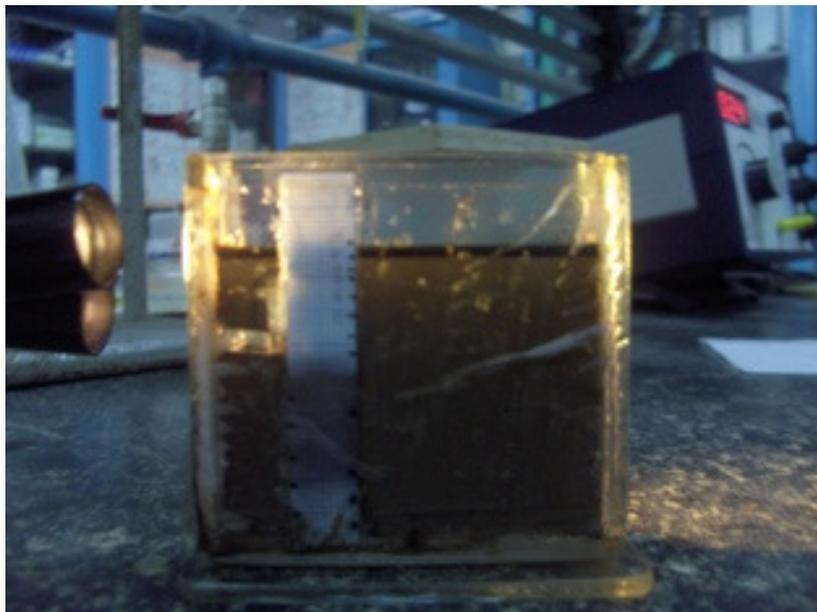


Figura 42. Emulsión asfáltica con fase oleosa clarificada luego de la aplicación de campo eléctrico.

CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados obtenidos se llegan a las siguientes conclusiones:

- La extracción de asfaltenos fue realizada de manera eficiente obteniéndose un porcentaje en peso de asfaltenos de 7,906% p/p, difiriendo del porcentaje de asfaltenos teórico en 0,464%.
- La manera más exitosa de obtener asfaltenos diluidos es por medio de agitación asistida por un agitador magnético, en la cual la solubilidad máxima de asfaltenos en tolueno que se obtuvo fue 160 mg asf/ml tol.
- El HLB óptimo de una emulsión limpia que contiene 50% de agua, 28% de parafina, 20% de tolueno y 2% surfactantes es 6,55 usando una mezcla de surfactantes no iónicos Span 80/Arkopal N-100 en una proporción de 75/25.
- Una emulsión limpia preparada al 30% de agua es un poco mas estable que una preparada al 50% de agua y facilita la aplicación de campo eléctrico para altos voltajes.
- La segregación gravitacional propicia la desestabilización de emulsiones a través del tiempo produciendo separación de fase oleosa y reduciendo el volumen de la fase emulsión.
- La aplicación de treinta (30) minutos de centrifugación a una emulsión limpia al 30% agua, 48% fase orgánica y HLB=5,92 es equivalente a que se desestabilice por medios gravitacionales durante siete (7) días y medio en reposo y a temperatura ambiente.
- Una emulsión asfáltica presenta mayor estabilidad que una sin asfaltenos y a medida que aumenta progresivamente su concentración esta se vuelve más estable.
- El voltaje óptimo aplicado en la desestabilización electrostática de emulsiones limpias y aromáticas es 2,8kv.

- El uso de campo eléctrico no afecta a la temperatura de la emulsión durante el tiempo de aplicación.
- Las emulsiones asfálticas son un medio bien estable aun con la aplicación de campo eléctrico, siendo la concentración de asfaltenos donde se obtuvo separación de fases la de 40mg asfaltenos/ml tolueno.
- El rango de voltaje óptimo para emulsiones asfálticas de 40mg asfaltenos/ml tolueno se encuentra entre de 2,8 y 3 kv.
- El campo eléctrico DC tiene un efecto coalescente de las gotas de agua de una emulsión W/O que afecta su estabilidad separándola en sus fases componentes de manera acelerada.

RECOMENDACIONES

- Comparar la desestabilización por aplicación de campo eléctrico DC de una muestra de fosa petrolera y una emulsión asfáltica.
- Realizar el estudio de desestabilización electrostática con mezcla de aromáticos (tolueno/xileno) para analizar y comparar la solubilidad de los asfaltenos para diferentes proporciones de tolueno/xileno.
- Realizar el estudio de desestabilización electrostática con el uso de surfactantes de la misma familia en la mezcla de surfactante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayón M. (2004) *Asfaltenos: Ocurrencia y floculación*. Cuaderno FIRP S369-PP Modulo de enseñanza en fenómenos interfaciales. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio FIRP. Mérida, Venezuela.
- Antón, R. (1993) *Mezclas de surfactantes*. Mérida, Venezuela: Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos (FIRP). Escuela de Ingeniería Química. Universidad de los Andes. 26p.
- A.S.T.M. D1250. *Standard guide for petroleum measured tables (2004)*.
- A.S.T.M. D6560. *Standard test method for determination of asphaltenes (heptane solubles) in crude Petroleum and Petroleum products (2000)*
- Bauer, J.(2007) *Influencia del campo eléctrico DC en la distribución de tamaño de particular de sistemas disperses crudo, agua y sólidos provenientes de lodos petrolizados*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Caracas, Venezuela.
- Becher, P. (1965) *Emulsions: Theory and Practice*. Second Edition. New York, USA: Reinhold Publishing Corporation. 440p.
- De Almeida, A. y Rodríguez N. (2006); *Estudio de la Coalescencia y Sedimentación Asistida por Aumento de Emulsiones de Agua en Aceite Bajo Efecto de Campo Eléctrico D.C*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Caracas, Venezuela.
- Eow, J. y Ghadiri, M. (2002); *Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the technology*. Short communication of the Chemical Engineering Journal. Londres, UK.
- Guerra, M. (2006). *Desarrollo de un protocolo para la preparación de emulsiones estables y reproducibles de agua en aceite*. Trabajo Especial de

Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Caracas, Venezuela.

- Guerrero, N; Ortega, Y. (2007) *Estudio de la influencia del campo eléctrico DC y del contenido de agua en la estabilidad de emulsiones de agua en aceite*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Caracas, Venezuela.
- Marfisi, S. (2004); *Estabilidad de Emulsiones Relacionada con el Proceso de Deshidratación de Crudos*. Tesis de Doctorado en Ciencias Aplicadas. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio FIRP. Mérida, Venezuela.
- Padrón, A.C. y Zúñiga, P.J. (2005) *Aplicación de la técnica de microscopía óptica para la caracterización de sistemas dispersos formados por crudo, agua y sólidos*. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, Caracas.
- Pérez, B. y Garfias, F (2002). *Deshidratación del crudo Maya mediante un campo eléctrico de corriente continúa*. Revista de la Sociedad Química de México. Vol 46, N°3.
- Puente, W. (2007) *Efecto de la geometría del electrodo en el proceso de deshidratación electrostática de emulsiones W/O*. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, Caracas.
- Rebolledo, M. (2007) *Estudio del efecto de sólidos en la estabilidad de una emulsión de agua en aceite bajo un campo eléctrico DC*. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química, Caracas.
- Salager, J.P. (1993) *Surfactantes en solución acuosa*. Versión N2. Mérida, Venezuela: Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos (FIRP). Escuela de Ingeniería Química. Universidad de los Andes. 26p.
- Salager, Jean Louis (1999). *Formulación, composición y fabricación de emulsiones para obtener las propiedades deseadas*. Cuaderno FIRP S747

parte A: Introducción y conceptos de formulación fisicoquímica. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Mérida.

- Salager, Jean Louis (1992). **El mundo de los surfactantes**. Cuaderno FIRP 311. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Mérida.
- Salager, Jean Louis y Fernández, A (2002). **Surfactantes tipos y usos**. Cuaderno FIRP S300-A .Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Mérida.
- Salager, J. L. y Marfisi, S. (2004). **Deshidratación del crudo**. Cuaderno FIRP 853-PP. Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Mérida.
- Yang, X. et al. (2001). *Film Properties of Asphaltenes and Resins*. Cap 23, Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology, Marcel Dekker, Inc, New York, USA.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Resumen de información recopilada del porcentaje de asfaltenos de la muestra de crudo.

Los promedios de los porcentajes de asfaltenos en peso fueron determinados a partir de las muestras tomadas de los diferentes pozos del Campo Socororo tomadas las muestras en la estación de flujo Elías 11, y se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 23. Porcentajes de asfaltenos. Fuente: Análisis de crudos por pozos en la estación de flujo Elías 11. PDVSA-San Tome. Porcentajes determinados de acuerdo a la norma IP-143-90.

Fecha de toma: Febrero-2005

| Pozo | Porcentaje de asfaltano (% p/p) |
|--------|---------------------------------|
| ES-450 | 9,78 |
| ES-453 | 7,02 |
| ES-417 | 10,02 |
| ES-425 | 9,21 |
| ES-457 | 11,07 |
| ES-433 | 10,57 |
| ES-420 | 8,09 |
| ES-452 | 8,46 |

Tabla 24. Porcentajes de asfaltenos. Fuente: Trabajo de Pasantía Lic. Geoquímico Vanessa

Quero. Fecha de toma: Septiembre-2005

| Pozo | Porcentaje de asfaltano (% p/p) |
|--------|---------------------------------|
| ES-401 | 7,66 |
| ES-420 | 8,09 |
| ES-425 | 9,21 |
| ES-454 | 6,31 |

| | |
|--------|------|
| ES-455 | 7,4 |
| SOC-3 | 6,98 |
| SOC-4 | 6,66 |

En las tablas 23 y 24 se presentan los porcentajes de asfaltos suministrados por PDVSA-Centro de Análisis San Tome y por la Lic. Geoquímica Vanessa Quero en su trabajo de pasantía cuyos promedios aritméticos son: 9,27% y 7,47% respectivamente.

APÉNDICE II

Reporte de resultados para el estudio de desestabilización gravitacional durante 28 días de una emulsión al 30% de agua con un HLB = 5,92.

El volumen de fase oleosa separada es producto de una medición indirecta, esta se baso en verter 15ml de emulsión en una zanahoria y medir la altura de esa columna de emulsión, luego se procedía a tomar lecturas de la altura de esa columna y la diferencia de altura que se producía por la fase orgánica clarificada en la parte superior de la emulsión. La siguiente figura muestra como fueron tomadas las lecturas de las alturas de las columnas. La lectura superior debe de corresponder a la altura de los 15ml de emulsión en estudio. La altura de la fase oleosa separada se determina por la diferencia entre la lectura superior y la lectura inferior mostrada en la figura 43.

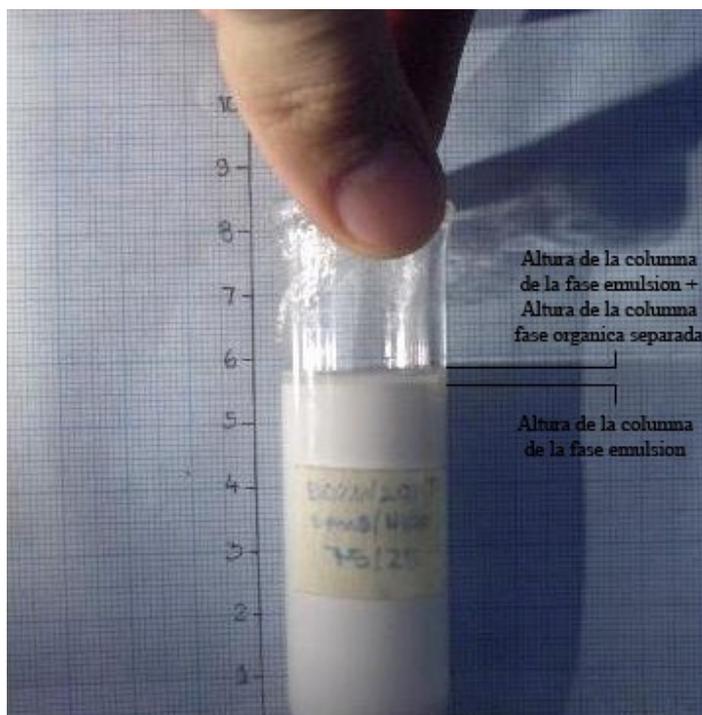


Figura 43. Ejemplo de lectura de columnas de fases separadas por segregación gravitacional de una emulsión 50% agua HLB = 5,65, dejado por 8 días en reposo.

Luego para determinar el volumen separado de parafina se realizo un cálculo de correspondencia con la altura del volumen total de emulsión (15ml) y la altura respectiva de la columna de fase orgánica separada. Ejemplo:

Volumen total de emulsión al inicio del estudio = 15 ml

Altura correspondiente del volumen total de la emulsión (fase orgánica + fase emulsión) = 57 mm

Altura correspondiente de la fase orgánica separada = 2mm

$$\text{Volumen}_{\text{ fase}_{\text{ organica}_{\text{ separada}}} = \frac{2\text{mm} * 15\text{ml}}{57\text{mm}} = 0.526\text{ml}$$

El calculo del porcentaje de fase oleosa separada se realizo para este estudio a través de un calculo análogo al anterior, tomando en cuenta que los 15ml de emulsión representan un 100% de la muestra. Determinado de esta manera el volumen y el porcentaje de fase oleosa separada se presenta a continuación la tabla 25 que reporta la separación gravitacional de una emulsión al 30% de agua y un HLB = 5,92, durante un periodo de reposo por 28 días. Se presume que la diferencia que existe en el balance de masa del volumen total de emulsión (fase emulsión + fase oleosa separada) es debida a la evaporación del aromático a condiciones ambientales.

Tabla 25. Resultado de la separación gravitacional de una emulsión al 30% de agua y un HLB=5,92

| Tiempo (días) | 0 (valores iniciales) | 10 | 15 | 28 |
|---|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Vol. fase oleosa sep. acumulada (ml) | 0 | 0,68 | 0,81 | 1,09 |
| Vol. fase acuosa sep. acumulada (ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vol. fase emulsión reducida (ml) | 15 | 13,22 | 12,81 | 12,27 |
| % fase oleosa acumulada | 0 | 4,54 | 5,45 | 7,27 |
| % fase acuosa acumulada | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % fase emulsión | 100 | 88,18 | 85,45 | 81,81 |

APÉNDICE III

Ejemplo de cálculo de porcentaje de fase oleosa separada por centrifugación.

El porcentaje de fase oleosa separada en función de su fracción en la emulsión fue calculada a través de la siguiente expresión:

$$\% \text{ fase_oleosa_sep.} = \frac{\text{Vol.fase_oleosa_sep}}{\text{Vol.emulsion} * \text{fraccion_organica}} * 100\%$$

El siguiente ejemplo muestra el cálculo del porcentaje de fase oleosa separada por centrifugación para una concentración de asfaltenos de 40mg/ml tolueno. Donde la *fracción _ orgánica*, viene dada por la fracción de parafina más la fracción de aromático que contiene la emulsión. De esta manera se obtiene una medida de la separación de dicha fase con respecto a su contenido original. Esta emulsión tiene 30% de agua, 20% aromático, 48% de parafina y un HLB = 5,92.

$$\text{Vol.emulsion} = 15\text{ml}$$

$$\text{Vol.fase_oleosa_sep} = 0,3947\text{ml}$$

$$\% \text{ fase orgánica} = 68\%$$

$$\% \text{ fase_oleosa_sep. @ } 40\text{mg / mlT} = \frac{0.3947\text{ml}}{15\text{ml} * 0.68} * 100\% = 3.87\%$$

APÉNDICE IV

RESULTADOS EMULSION LIMPIA (30% W, 48% P, 20% T, Span80/N100 82/18, HLB = 5,92). APLICACION DE CAMPO ELECTRICO A DIFERENTES VOLTAJES

Voltaje aplicado: 1,9kv

Con este voltaje no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas). La separación de fase oleosa fue medida al finalizar la aplicación de campo eléctrico después de que se estabilizara horizontalmente la interfase.

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada (mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|--------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|--------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 0,5 | 1,5 | 1 | 5,208 | 0 | 0 | 10,417 | 0,5 |

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | | |
|--------------|------------------|----------|----------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
| 0 | 27 | 27 | 27 |
| 120 | 27,5 | 27 | 27 |

Voltaje aplicado: 2,4kv

| Tiempo (min) | Volumen de agua separada (mL) | | | Separación de agua (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,3 | 0 | 0 | 5,00 | 0 | 0 | 1,67 | 2,89 |
| 3 | 0,3 | 0 | 0 | 5,00 | 0 | 0 | 1,67 | 2,89 |
| 4 | 0,3 | 0 | 0 | 5,00 | 0 | 0 | 1,67 | 2,89 |
| 5 | 0,5 | 0 | 0 | 8,33 | 0 | 0 | 2,78 | 4,81 |
| 10 | 0,5 | 0 | 0 | 8,33 | 0 | 0 | 2,78 | 4,81 |
| 15 | 0,5 | 0 | 0 | 8,33 | 0 | 0 | 2,78 | 4,81 |
| 20 | 0,5 | 0 | 0 | 8,33 | 0 | 0 | 2,78 | 4,81 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 30 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |
| 40 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |
| 60 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |
| 75 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |
| 90 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |
| 120 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 8,33 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 2,89 |

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada (mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|--------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 4 | 2,5 | 2 | 41,67 | 26,04 | 20,83 | 29,51 | 1,04 |

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | | |
|--------------|------------------|----------|----------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
| 0 | 27 | 27 | 27 |
| 120 | 27 | 27 | 27 |

Voltaje aplicado: 2,8kv

No se observaron cambios en la temperatura, se mantuvo constante para los tres ensayos de este estudio en 27°C

| Tiempo (min) | Volumen de agua separada (mL) | | | Separación de agua (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| 3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 4 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 10 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 15 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 20 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 30 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 40 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 60 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 75 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 90 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |
| 120 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 8,33 | 8,33 | 5,00 | 7,22 | 1,92 |

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 1 | 4 | 3 | 10,42 | 41,67 | 31,25 | 27,78 | 1,53 |

Voltaje aplicado: 3,6kv

| Tiempo (min) | Volumen de agua separada (mL) | | | Separación de agua (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 15 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 20 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 30 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 40 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 60 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 75 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 90 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |
| 120 | 0,2 | 0,2 | 0 | 3,33 | 3,33 | 0,00 | 2,22 | 1,92 |

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 2 | 2 | 2,5 | 20,83 | 20,83 | 26,04 | 22,56 | 0,28 |

| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | | |
|--------------|------------------|----------|----------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 |
| 0 | 27 | 27 | 27 |
| 120 | 27 | 27 | 28 |

APÉNDICE V

RESULTADOS EMULSION ASFALTÉNICA I (30%W, 48%P, 20%T, Span80/N100 82/18, HLB 5,92). BARRIDO DE CONCENTRACION DE ASFALTENOS. APLICACION DE CAMPO ELECTRICO CONSTANTE (2,8 kv).

Concentración de asfaltenos: 40 mg asf/ml tolueno.

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 5,20 | 7,29 | 7,29 | 6,59 | 0,11 |

Concentración de asfaltenos: 80 mg asf/ml tolueno.

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 5,20 | 7,29 | 7,29 | 6,59 | 0,11 |

Concentración de asfaltenos: 120 mg asf/ml tolueno.

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | Desv. Stand. |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | |
| 120 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 2,08 | 1,04 | 1,04 | 1,38 | 0,05 |

APÉNDICE VI

RESULTADOS EMULSION ASFALTÉNICA I (30%W, 48%P, 20%T, Span80/N100 82/18, HLB 5,92). BARRIDO DE VOLTAJE EN LA APLICACION DE CAMPO ELECTRICO. A CONCENTRACION DE ASFALTENOS CONSTANTE (40 mg/ml tol).

Voltaje aplicado: 2,4kv

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 5,20 | 5,20 | 2,08 | 4,17 | 0,17 |

Voltaje aplicado: 3kv

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | Desv. Stand. |
| 120 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 7,29 | 5,21 | 7,29 | 6,60 | 0,12 |

Voltaje aplicado: 3kv

A esta concentración no se obtuvo separación de agua durante el periodo de tiempo estudiado (2 horas).

| Tiempo (min) | Volumen de fase oleosa separada(mL) | | | Separación de fase oleosa (%) | | | | Desv. Stand. |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|-------|--------------|
| | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 1 | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Prom. | |
| 120 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 5,20 | 5,20 | 5,20 | 5,20 | 0 |

GLOSARIO DE TERMINOS

ACEITE: En términos generales "Fase orgánica" con carácter no-polar, en oposición al agua.

ACIDOS CARBOXILICOS: Compuestos orgánicos oxigenados cuyo grupo funcional carboxilo, se origina teóricamente al sustituir dos hidrógenos en un carbono primario (-CH₃) de un hidrocarburo, por un oxígeno y el otro hidrógeno por el grupo -OH.

ACIDOS GRASOS: Ácidos carboxílicos con número par de átomos de carbono, que se encuentran en los triglicéridos de los aceites y grasas naturales. Generalmente entre 10 y 20 átomos de carbono, con cadena lineal saturada o insaturada, y con el grupo carboxílico en la extremidad. Las sales se llaman jabones.

ADSORCION: 1) Fenómeno de acumulación bidimensional de una sustancia en una superficie o interfase. Se diferencia de ABSORCION, la cual corresponde a la transferencia de masa hacia el seno de una fase (tridimensional). 2) Se dice de la concentración superficial de surfactante o sustancia adsorbida (unidad típica: mol/unidad de área).

ALCANOS: Son hidrocarburos alifáticos que responden a la fórmula C_nH_{2n+2}.

ALCOHOL: Compuesto orgánico oxigenado que teóricamente se origina al sustituir un hidrógeno cualquiera, de un hidrocarburo alifático, por un grupo hidroxilo (-OH).

ALDEHIDO: Compuesto orgánico oxigenado que se origina teóricamente por la sustitución de dos hidrógenos en un carbono primario (-CH₃) de un hidrocarburo, por el oxígeno.

ALQUIL: Grupo hidrocarbonado de tipo alcano (saturado) susceptible de fijarse por sustitución electrofílica sobre un núcleo aromático. Los agentes de Alquilación contienen en general un grupo reactivo (doble enlace, cloruro).

ALQUILACION: Reacción de unión de un grupo alquil sobre un núcleo aromático o un doble enlace. Reacción de Friedel-Crafts.

ALQUILATO: Se dice de la sustancia resultante de la reacción de alquilación. En general Alquil benceno o semejantes.

AMIDA: Compuesto orgánico oxigenado derivado de los ácidos carboxílicos los cuales se obtienen teóricamente al sustituir el grupo $-OH$ de la función carboxilo, por un grupo amino ($-NH_2$, NHR , NR_2).

AMINA: Compuesto orgánico nitrogenado que teóricamente resulta de sustituir cualquier tipo de H sobre C-1ero, C-2do o C-3ero de un hidrocarburo, por el grupo amino. Pero también se les consideran derivados alquílicos o arílicos del amoniaco (NH_3).

ANFIFILO: Textualmente "que es amigo de ambos lados". Se dice de una sustancia o de una molécula que posee una doble afinidad polar/no-polar.

ANHIDRIDO: Compuesto orgánico oxigenado derivado de los ácidos carboxílicos, en donde el H del grupo $-OH$ de la función carboxilo, es sustituido por un grupo alquilo aril carbonilo ((Ar)R-C=O)

ANIONICO: Que se disocia en agua para formar un ión surfactante cargado negativamente. Por ejemplo: jabones, sulfatos, sulfonatos.

ANTIESTATICO: Sustancia que al adsorberse, elimina las cargas eléctricas, y por lo tanto los fenómenos de atracción o repulsión electrostáticas. Por ejemplo: surfactantes catiónicos, enjuagues.

CATIONICO: Que se disocia en agua para formar un ión surfactante cargado positivamente. Por ejemplo: cloruro de piridinio.

CAPILARIDAD: es la cualidad que posee una sustancia de absorber a otra. En el caso del tubo delgado, se succiona un líquido en contra de la fuerza de gravedad. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son más fuertes que las fuerzas intermoleculares cohesivas entre el líquido. Esto causa que el menisco tenga una forma cóncava cuando el líquido está en contacto con una superficie vertical. Este es el mismo efecto que causa que materiales porosos absorban líquidos.

CETONA: Compuesto orgánico oxigenado que a diferencia de los aldehídos, los cuales don funciones de carbono primario ($-\text{CH}_3$), las cetonas se forman teóricamente al sustituir los dos hidrógenos de un carbono secundario ($-\text{CH}_2$) de un hidrocarburo, por el oxígeno.

CMC: 1) Concentración Micelar Crítica. Concentración mínima para que el surfactante forme agregados llamados "micelas", los cuales son responsables de las propiedades de solubilización y de detergencia. 2) Carboximetil celulosa, agente viscosificante y antiredeposición.

CICLOALCANOS: Son hidrocarburos alifáticos saturados cíclicos que responden a la fórmula C_nH_{2n} .

COLOIDES: Coloides: sistema físico que está compuesto por dos fases: una *continua*, normalmente fluida, y otra *dispersa* en forma de partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). El nombre de coloide proviene de la raíz griega *kolas* que significa *que*

puede pegarse. Este nombre hace referencia a una de las principales propiedades de los coloides: su tendencia espontánea a agregar o formar coágulos.

CRISTAL LÍQUIDO: Estructura organizada que tiene ciertas características de un cristal (orientación, propiedades ópticas, etc.) pero que puede deformarse fácilmente como un líquido.

DEMULSIONANTE: Surfactante cuya función es desestabilizar o romper una emulsión.

DESORCION: Fenómeno inverso de la absorción.

DISPERSION: Sistema polifásico, en general sólido-líquido de fase líquida continua. Se usa también para emulsiones no-estables.

EMULSION: Sistema difásico relativamente estable compuesto de dos líquidos inmiscibles: uno en forma de gotas (fase interna o discontinua), dispersadas en el otro (fase externa o continua). Se usan los símbolos con iniciales inglesas O/W y W/O.

EMULSIONAR: Acción de fabricar una emulsión.

EMULSOR: Aparato con el cual se fabrica una emulsión.

EMULSIONANTE: Surfactante cuya función es facilitar la formación de una emulsión (bajando la tensión) y estabilizarla.

EPOXI-: Prefijo que indica la presencia en la molécula de un puente éter entre dos átomos de carbono vecinos. Este ciclo, cuyo ejemplo más simple es el óxido de etileno, es extremadamente inestable.

ESTER: Compuesto orgánico oxigenado derivado del ácido carboxílico. Resulta teóricamente de sustituir el H del –OH del grupo funcional carboxilo, por un grupo alquilo o arilo.

ETER: Compuesto orgánico oxigenado que se forma teóricamente al sustituir el hidrógeno del grupo –OH de un alcohol o un fenol, por un grupo alifático o aromático.

ETOXI- Prefijo que indica que la molécula posee uno o varios grupos óxido de etileno en forma de cadena polieter.

FUERZAS DE VAN DER WAALS: son fuerzas electrostáticas muy débiles que se originan por la atracción y repulsión de moléculas no polares cuando se aproximan entre sí, polarizándose las moléculas momentáneamente, ejemplo las moléculas gaseosas no polares H₂, O₂ y N₂.

HALOGENUROS DE ACIDO: También son ácidos carboxílicos. Resultan teóricamente de sustituir el grupo –OH de la función carboxilo, por un halógeno (Cl, Br).

HALOGENUROS DE ALQUILO: Compuesto orgánico halogenado que resulta teóricamente de sustituir un hidrógeno cualquiera de un hidrocarburo alifático (saturado o insaturado), por un halógeno

HALOGENUROS DE ARILO: Compuesto orgánico halogenado que resulta teóricamente de sustituir un hidrógeno cualquiera de un hidrocarburo aromático, por un halógeno.

HIDROCARBUROS AROMATICOS: Son compuestos orgánicos que contienen únicamente carbono e hidrógeno, pero formando anillos.

HIDROCARBUROS ALIFATICOS INSATURADOS: Son hidrocarburos cuyos átomos de carbono se unen entre si, a través de enlaces dobles (alquenos, dienos, cicloalquenos) enlaces triples (alquinos).

HIDROCARBUROS ALIFATICOS SATURADOS: Son hidrocarburos cuyos átomos de carbono se unen entre si a través de enlaces sencillos, en cadenas abiertas (alcanos) o en cadenas cerradas (cicloalcanos).

HIDROFILO: Textualmente "amigo del agua". Se dice de una sustancia o de un grupo funcional que posee una afinidad predominante para el agua.

HIDROFOBO: Textualmente "enemigo del agua". En el contexto de los surfactantes es idéntico a lipofilo. Se dice también de sustancias que repelen el agua.

HIDROTOPO: Textualmente "volver acuoso". Anfifilo extremadamente hidrofílico como el tolueno sulfonato. No es un surfactante, pero se usa como agente que facilita la disolución de los surfactantes en formulaciones.

IMIDA: compuesto orgánico oxigenado equivalentes a los anhídridos cíclicos, en donde el puente de oxígeno está sustituido por un $-NH$.

IMINA: compuesto orgánico nitrogenado que teóricamente se obtiene al sustituir dos H de un carbono primario ($-CH_3$) o secundario ($-CH_2$) en un hidrocarburo, por el grupo $=N-$.

INHIBIDOR de CORROSION Sustancia que al adsorberse sobre un sustrato metálico reduce la corrosión.

INTERACCION DIPOLO-DIPOLO: es una fuerza intermolecular que se origina por la atracción electrostática que ejerce el extremo positivo de una molécula polar, por el extremo negativo de otra molécula semejante.

INTERFASE: Límite entre dos fases condensadas. Se usa a veces indiferentemente por superficie.

LIPOFILO: Textualmente "amigo del sebo". Se dice de una sustancia o de un grupo funcional que posee una afinidad predominante para el "sebo" y por extensión para las sustancias no-polares denominadas en forma general aceites.

LINEAL (CADENA): Cadena hidrocarbonada sin ramificación, es decir sin carbono terciario. Se aplica a olefinas, parafinas, alquilatos y otros compuestos. Se usa también el prefijo "n-" o normal.

MICELA: Compuesto de agregación de varias moléculas de surfactantes (100-500). Según la orientación se habla de "micela" o de "micela inversa". Las micelas son responsables de las propiedades de solubilización y de la detergencia. Aparecen a partir de la Concentración Micelar Crítica (CMC).

MOMENTO DIPOLAR: magnitud vectorial que caracteriza la polaridad en una molécula, el cual es igual a la magnitud de la carga multiplicada por la distancia entre los centros de carga.

NITRILO: compuesto organico nitrogenado que resulta de sustituir los tres H de un carbono primario (-CH₃) o secundario (-CH₂), por el N con enlace triple ($\equiv\text{N}$).

PUNTE DE HIDROGENO: es otra fuerza intermolecular dipolo-dipolo, pero en este caso se origina cuando un átomo de hidrogeno unido a un oxigeno o a un nitrógeno de una molécula polar, sirve de puente de unión a otra molécula polar, uniéndose a uno de

los átomos, mediante un enlace covalente y al otro átomo, a través de fuerzas electrostáticas.

RAMIFICADO (CADENA): Una cadena ramificada es una estructura hidrocarbonada con carbonos terciarios. Se aplica a olefinas, parafinas, alquilatos, etc. Se usa también el prefijo "iso-".

RESINAS: Las resinas se pueden considerar como sustancias que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas. Se dividen en resinas naturales y sintéticas. Ejemplo de resinas naturales son: resina verdadera, gomorresinas, oleorresinas, bálsamos y lactorresinas. Ejemplo de resinas sintéticas son: poliéster, poliuretano, resina epoxi y Acrílicos.

SOLVATACIÓN: es el proceso de interacción entre las moléculas de un solvente y las de un soluto formando agregados. Algunos de estos agregados son estables y tienen un número determinado de moléculas de solvente y otras no. Cuando el solvente es el agua, al proceso se le llama hidratación. Cualquier soluto covalente polar puede interactuar con solventes polares.

SURFACTANTE Sustancia que tiene una actividad superficial o interfacial. Los anfífilos son surfactantes cuando sus afinidades polar y no-polar están más o menos equilibradas.

SUSPENSION: Dispersión relativamente estable de un sólido en un líquido. La estabilidad se refiere a la sedimentación y a la floculación.

TENSION SUPERFICIAL: fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica. Esta se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie. Así, en el seno de un líquido cada molécula está sometida a fuerzas de atracción que en promedio se anulan. Esto permite que la molécula tenga una energía bastante baja.

TENSOACTIVO: Sustancia capaz, al adsorberse en la superficie o interfase, de afectar (reducir) la tensión superficial.

ANEXOS

FICHAS DE TOXICOLOGÍA DE LOS AGENTES UTILIZADOS.

Fuentes consultadas el día 10 de octubre del 2007:

www.segulab.com/heptano.htm

www.ciaquimica.com.ar/pdf/msds/1037-TOLUENO MSDS.pdf

Ficha de Datos de Seguridad

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión



Fecha de emisión: 17.03.2006
Reemplaza la emisión del 19.02.2004

1. Identificación de la sustancia o del preparado y de la sociedad o empresa

Identificación de la sustancia o del preparado

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

Utilización de la sustancia/preparación

Análisis químico
Producción química
Producción y análisis farmacéuticos

Denominación de la empresa

Empresa: Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-2440
Teléfono de urgencias: Instituto Nacional de Toxicología * Madrid * Tel: 91 562 04 20

2. Composición/información sobre los componentes

| | | | |
|------------------------------------|---|----------------------|--------------|
| Nr.-CAS: | 142-82-5 | Número de índice CE: | 601-008-00-2 |
| PM: | 100.21 g/mol | Número CE: | 205-563-8 |
| Fórmula molecular: (según Hill) | C ₇ H ₁₆ | | |
| Fórmula química: | CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃ | | |

3. Identificación de peligros

Fácilmente inflamable. Irrita la piel. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. Nocivo; si se ingiere puede causar daño pulmonar. La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.

4. Primeros auxilios

Tras inhalación: aire fresco. Llamar al médico en caso de molestias.
Tras contacto con la piel: aclarar con abundante agua. Eliminar ropa contaminada.
Tras contacto con los ojos: Aclarar con abundante agua, manteniendo abiertos los párpados.
Tras ingestión: cuidado con los vómitos. ¡Peligro de aspiración! Mantener libres las vías respiratorias.
Llamar inmediatamente al médico.
En caso de vómito espontáneo: peligro de aspiración. Posible fallo pulmonar. Consultar al médico.

Ficha de Datos de Seguridad Merck

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

5. Medidas de lucha contra incendios

Medios de extinción adecuados:

CO₂, espuma, polvo.

Riesgos especiales:

Combustible. Vapores más pesados que el aire.

Son posibles mezclas explosivas con el aire a temperaturas normales. Observar también ignición de retroceso.

En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios:

Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada.

Referencias adicionales:

Refrigerar los recipientes con rociado de agua desde una distancia segura. Evitar la penetración del agua de extinción en acuíferos superficiales o subterráneos.

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Medidas de precaución relativas a las personas:

Evitar el contacto con la sustancia. No inhalar los vapores/aerosoles. Proceder a ventilación en lugares cerrados.

Medidas de protección del medio ambiente:

No incorporar a la canalización del desagüe; ¡Riesgo de explosión!

Procedimientos de recogida/limpieza:

Recoger con materiales absorbentes, p. ej. con Chemisorb®. Proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar.

7. Manipulación y almacenamiento

Manipulación:

Observaciones sobre la protección de incendios y explosiones:

Mantener alejado de fuentes de ignición. Evitar la carga electrostática.

Indicaciones para una manipulación segura:

Trabajar bajo vitrina extractora. No inhalar la sustancia. Evitese la generación de vapores/aerosoles.

Almacenamiento:

Bien cerrado, en lugar bien ventilado, alejado de fuentes de ignición y de calor. Temperatura de almacenamiento: sin limitaciones.

8. Controles de exposición/protección personal

Parámetros específicos de control:

CE

| | |
|---------|------------------------|
| nombre | n-Heptano |
| valores | 500 ml/m ³ |
| | 2085 mg/m ³ |

Ficha de Datos de Seguridad Merck

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

Protección personal:

Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa. Debería aclararse con el suministrador la estabilidad de los medios protectores frente a los productos químicos.

Protección respiratoria: necesaria en presencia de vapores/aerosoles. Filtro A.

Protección de los ojos: precisa

Protección de las manos: Para contacto pleno:
Guante: Caucho nitrilo
Espesor: 0.40 mm
Tiempo de penetración: > 480 Min.
En caso de salpicaduras:
Guante: Policloropreno
Espesor: 0.65 mm
Tiempo de penetración: > 60 Min.

Los guantes de protección indicados deben cumplir con las especificaciones de la Directiva 89/686 EEC y con su norma resultante EN374, por ejemplo KCL 730 Camatril® -Velours (Sumercion), 720 Camapren® (Salpicaduras). Los tiempos de ruptura mencionados anteriormente han sido determinados con muestras de material de los tipos de guantes recomendados en mediciones de laboratorio de KCL según EN374.

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Otras medidas de protección: Ropa protectora contra llamas. Ropa antiestática

Medidas de higiene particulares:

Sustituir inmediatamente la ropa contaminada. Protección preventiva de la piel. Lavar cara y manos al término del trabajo. Trabajar bajo vitrina extractora. No inhalar la sustancia.

9. Propiedades físicas y químicas

| | | | |
|----------------------------|----------------|---------------|---------|
| Estado físico: | líquido | | |
| Color: | incoloro | | |
| Olor: | característico | | |
| Valor pH | | no disponible | |
| Viscosidad dinámica | (20 °C) | 0.42 | mPa*s |
| Punto de fusión | | -90.5 | °C |
| Punto de ebullición | (1013 hPa) | 97-98 | °C |
| Temperatura de ignición | | 215 | °C |
| Punto de inflamación | | -4 | °C c.c. |
| Límite de explosión | bajo | 1 | Vol% |
| | alto | 7 | Vol% |
| Presión de vapor | (20 °C) | 48 | hPa |
| Densidad de vapor relativa | | 3.46 | |

Ficha de Datos de Seguridad Merck

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

| | | | | |
|---------------------|---------|------|-------------------|-------------------------------------|
| Densidad | (20 °C) | 0.68 | g/cm ³ | |
| Solubilidad en Agua | (20 °C) | 0.05 | g/l | |
| log Pow | | 4.66 | | (experimentalmente) (Literatura) |

10. Estabilidad y reactividad

Condiciones a evitar

Calentamiento.

Materias a evitar

Posibles reacciones violentas con: oxidantes fuertes.

Productos de descomposición peligrosos

información no disponible

Información complementaria

materiales inadecuados: plásticos diversos, goma.
Explosivo en estado vapor/gas con el aire.

11. Información toxicológica

Toxicidad aguda

LC₅₀ (inhalativo, rata): 103 g/m³/4 h (RTECS).
LD₅₀ (dérmica, conejo): 3400 mg/kg (IUCLID).
LD₅₀ (oral, rata): >2000 mg/kg (Ficha de datos de Seguridad externa).

Síntomas específicos en ensayos sobre animales:
Ensayo de irritación ocular (conejo): Sin irritación (IUCLID).

Toxicidad subaguda a crónica

Mutagenicidad bacteriana: Salmonella typhimurium: negativa. (in vitro) (IUCLID)

Informaciones adicionales sobre toxicidad

Tras inhalación de vapores/aerosoles: Irritaciones en las vías respiratorias. sueño, aturdimiento.
Tras contacto con la piel: Irritaciones. Efecto desengrasante sobre la piel con posible infección secundaria.

Tras contacto con los ojos: Sin irritación.

Tras ingestión: Irritaciones de las mucosas en la boca, garganta, esófago y tracto estomago-intestinal. cefaleas, sueño, aturdimiento, vértigo, pérdida de conocimiento, narcosis (muerte), paro respiratorio. En caso de ingestión por error, la sustancia puede presentar peligro de aspiración. Si llega a los pulmones (vómito!) puede presentarse un estado análogo al de la pulmonía (neumonitis química).

Otras indicaciones:

Para hidrocarburos alifáticos con 6 - 18 átomos de carbono en general: por inhalación directa producen pulmonía y posibles edemas pulmonares. Estos efectos pueden darse aquí sólo bajo condiciones especiales (rociado, pulverización e inhalación de aerosoles e.o.). Tras absorción de muy elevadas cantidades, narcosis.

Información complementaria

El producto debe manejarse con las precauciones apropiadas para los productos químicos.

Ficha de Datos de Seguridad Merck

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

12. Informaciones ecológicas

Comportamiento en compartimentos ecológicos:
Reparto: log P(o/w): 4,66 (experimentalmente) (Literatura).
Es de esperar un notable potencial de bioacumulación (log Po/w >3).
Constante de Henry: 208678 Pa*m³/mol (calculado) (Literatura) (volátil).

Efectos ecotóxicos:
Efectos biológicos:
Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Toxicidad para los peces: C. auratus LC₅₀: 4 mg/l /24 h (Literatura).
Toxicidad de dafnia: Daphnia magna CE₅₀: 1.5 mg/l /48 h (Literatura).

Los datos bibliográficos de que disponemos no coinciden con la clasificación prescrita por la UE. La UE dispone de documentación, que no ha sido publicada.

Otras observaciones ecológicas:
DBO₅: 1.92 g/g (TUCLID). DBO 55 % del ThOD /5 d (Literatura). ThOD: 3.5 g/g (Literatura).

¡No incorporar a suelos ni acuíferos!

13. Consideraciones relativas a la eliminación

Producto:

Los productos químicos han de eliminarse siguiendo las normativas nacionales. Bajo www.retrologistik.de encontrará indicaciones sobre países, indicaciones específicas de productos así como contactos.

Embalaje:

Los envases de productos Merck han de eliminarse siguiendo las normativas nacionales. Bajo www.retrologistik.de encontrará indicaciones especiales para las peculiaridades nacionales así como contactos.

14. Información relativa al transporte

Transporte terrestre ADR, RID
UN 1206 HEPTANE, 3, II

Transporte fluvial ADN, ADNR no ensayado

Transporte marítimo IMDG-Code
UN 1206 HEPTANES, 3, II
EmS: F-E S-D

Transporte aéreo CAO, PAX
UN 1206 HEPTANES, 3, II

Las informaciones relativas al transporte se mencionan de acuerdo a la reglamentación internacional y en la forma como se aplican en Alemania. Pueden existir posibles diferencias a nivel nacional en otros países comunitarios.

Ficha de Datos de Seguridad Merck

Conforme a la Directiva 91/155/CEE de la Comisión

Artículo número: 104379
Denominación: n-Heptano p.a. Reag. Ph Eur

15. Información reglamentaria

Etiquetado según Directivas de la CEE

| | | |
|-------------|---------------------|---|
| Pictograma: | F Xn N | Fácilmente inflamable Nocivo Peligroso para el medio ambiente |
| Frases R: | 11-38-50/53-65-67 | Fácilmente inflamable. Irrita la piel. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar. La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo. |
| Frases S: | 9-16-29-33-60-61-62 | Manténgase el recipiente en lugar bien ventilado. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. No tirar los residuos por el desagüe. Evite la acumulación de cargas electrostáticas. Elimínese el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Evite su liberación al medio ambiente. Recíbense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad. En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstrela la etiqueta o el envase. |
| Número CE: | 205-563-8 | Etiquetado CE |

Etiquetado reducido(1999/45/CE,art.10,4)

| | | |
|-------------|--------------|---|
| Pictograma: | F Xn N | Fácilmente inflamable Nocivo Peligroso para el medio ambiente |
| Frases R: | 65 | Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar. |
| Frases S: | 62 | En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstrela la etiqueta o el envase. |

16. Otras informaciones

Razón de revisión

Cambio/Completado de los parámetros físico-químicos.
Cambio en el capítulo de toxicología.

Revisión general.

Representante regional:

VWR International S.L. * Apartado 48 * E-08100 Mollet del Valles * Tel.: +34 (0) 93 5655 500 *
Fax: +34 (0) 93 5440 000

Merck Farma y Química, S.A. * Apartado 47 * E-08100 Mollet del Valles * Tel.: +34 (0) 93 5655 500
* Fax: +34 (0) 93 5440 000* e-mail: lifescience@merck.es

Los datos suministrados en esta ficha de seguridad se basan a nuestro actual conocimiento. Describen tan sólo las medidas de seguridad en el manejo de este producto y no representan una garantía sobre las propiedades descritas del mismo.

| | |
|--|---|
|  <p>Cía. Química y Agroquímica Argentina S.A.</p> | <p>Calle 119 N° 3488 Villa Bonich - San Martín (1650) Pcia. de Buenos Aires TE/FAX: 4768-9939 y Rotativas</p> |
|--|---|

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD - MSDS

TOLUENO

REVISION: M. Nupieri FECHA: 02/2006 REEMPLAZA A: 10/2005 VERSION: 2 APROBACION: F. Olmedo

1.- Identificación del producto y de la empresa

Nombre del producto: TOLUENO

Otras designaciones: Metil Benceno; Toluol; Tolueno.

Descripción: Líquido incoloro, de olor suave, característico. Umbral de Olor: < 1 a 70 ppm.

Usos: elaboración de pinturas (Lacas, barnices y esmaltes) y thinners, Cementos de contacto, cintas adhesivas, disolvente de resinas alquídicas y fenólicas entre otras. Diluyente de tintas gráficas.

Empresa: CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA S.A.

Calle 119 N° 3488

(1650) Villa Bonich - San Martín - ARGENTINA

Pcia. De Buenos Aires

TE: 54 -11-4768-9939

2.- Composición o Ingredientes

Nombre Comercial: TOLUENO

Fórmula: $C_6H_5CH_3$

Número de CAS: 108-88-3

Contenido: Se presenta con una pureza de mínimo 99 %.

3.- Identificación de peligros

Precaución: Utilizar Equipos de Protección Respiratoria. Absorber el líquido con material absorbente, contener el derrame y depositarlo en tambores cerrados. Ventilar el área. Restringir el ingreso a toda persona que no esta interviniendo en la operación de limpieza.

Resumen de riesgos: Almacenar en tambores metálicos firmemente cerrados (libre de aire) en un espacio fresco, seco y bien ventilado lejos de fuentes de calor y materiales incompatibles. Controlar los inventarios seguido. Proteger a los tambores contra golpes y daños físicos.

Antes de usar el producto a granel, controlar una pequeña cantidad para verificar la calidad, así como el contenido de peróxidos.

Órganos afectados: Piel, ojos, sistema respiratorio, CNS.

Forma de entrada: Inhalación, absorción de piel, ingestión.

Efectos agudos:

INHALACION: Los vapores causan irritación del tracto respiratorio superior con tos, disnea, dolor de cabeza, congestión, salivación, suave deshidratación, bronquitis, neumonitis química y/o edema pulmonar y efectos sobre el sistema nervioso central.

ABSORCION: El contacto con los ojos puede causar ceguera y daños en los tejidos. El contacto con la piel puede causar irritación.

INGESTION: Dolor abdominal, náuseas, vómitos, tos, somnolencia, dolor de cabeza, jadeo, debilidad.

4.- Medidas de primeros auxilios

Ojos: Lavar inmediatamente con agua durante 15 minutos (mínimo), buscar atención médica.
Piel: Quitar toda la ropa contaminada, lavar inmediatamente con grandes cantidades de agua y buscar atención médica.
Inhalación: Sacar a la persona del lugar de exposición. Proveer asistencia respiratoria y RCP. Derivar a centro médico asistencial.
Ingestión: Buscar atención médica inmediata a centro de toxicología. No inducir al vómito.
Datos para el Médico: Cualquier desorden del sistema nervioso puede ser agravado por la exposición.

5.- Medidas de extinción

Flash point (OC): 5°C - (41°F)
Temperatura auto ignición: 480°C (896°F)
LEL: 1.1 %
UEL (a 100 °C): 7.1 %



Medios de extinción: Utilizar Polvo Químico Seco, spray de agua, espuma, dióxido de carbono en fuegos pequeños.

Riesgos poco usuales de incendio o explosión: Líquido combustible que puede incrementar el quemado de los materiales. Los contenedores pueden explotar en incendios.

Procedimientos especiales de lucha contra incendio: Use ropa de protección total y equipo de respiración autónomo. No utilice spray para diluir el derrame. Dispersar los vapores para mantener los contenedores fríos.

6.- Medidas de fugas accidentales

Derrames y fugas: En caso de derrame informar al personal de seguridad. Eliminar cualquier fuente de ignición. Ventilar el área con máxima protección contra explosión.

Método para limpieza: El personal involucrado en el operativo de limpieza, debe tener equipo protector contra inhalación y contacto con piel y ojos. Absorber pequeños derrames con papel o vermiculita. Contener los derrames grandes y si es posible, absorberlos con arena o vermiculita. Colocar el residuo en recipientes cerrados empleando para ello herramientas a prueba de chispas. Impedir el drenaje del producto a desagües o cursos de agua.

7.- Manipuleo y Almacenamiento

Manipuleo: Los recipientes deben ser conectados a tierra cuando se hace el llenado para evitar el riesgo de chispas por estática. No fumar en el área cuando se manipula este producto.

Almacenamiento: Almacenar el producto en contenedores cerrados, en un área seca, bien ventilada y alejada de agentes oxidantes, fuentes de ignición, chispas y llamas. El área debe cumplir con las exigencias de almacenamiento para inflamables. No fumar en el área donde se almacena este producto. Evitar el daño de los contenedores. Mantener los niveles de concentración en áreas confinadas por debajo del 25% del LEL (ver sec.5).

8.- Control de exposición/Protección personal

Límites en niveles de exposición

D.N.S.S.T. Res.

CMP: 100 ppm (375 mg/m³)

CMP-CPT: 150 ppm (560 mg/m³)

TLV (1998) ACGIH

TLV-TWA: 50 ppm (188 mg/m³)

TLV - STEL: NO ESTABLECIDO.

OSHA PEL

8 Horas, TWA: 200 ppm (766 mg/m³)

CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA – TOLUENO Página 3 de 4

MSDS N° 1037 Versión 2 (Febrero/2006)

Mascaras: Utilizar máscaras faciales y/o antiparras para proteger cara y ojos. Evitar el uso de lentes de contacto en el manipuleo de este producto, ya que las lentes blandas pueden absorber sustancias irritantes y todas las lentes las concentran.

Protección respiratoria: Cuando se encuentra a exposiciones a más de 250 ppm se deberá utilizar Equipos Autónomos de Protección Respiratoria. Para trabajos de emergencia o no rutinarios (limpieza de derrames, reactores y tanques), utilizar equipos de protección completa, con aparatos de respiración autónomos. Las máscaras con purificación de aire no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.

Otros elementos: Usar guantes, botas, delantales y ropa protectora impermeable, para evitar el contacto con la piel, prolongado o repetido, de materiales como goma Butilo; no se recomienda el uso de goma, neoprene, goma nitrilo, PVC, Vitón.

Ventilación: Mantener sistemas exhaustivos de ventilación local y general de forma de mantener los niveles de contaminación ambiental en valores bajos, así como para disminuir el riesgo de inflamabilidad. Los ventiladores y todo el material eléctrico deben ser antichispas y diseñados a prueba de explosiones.

Dispositivos de Seguridad: Disponer en el área de lava ojos, lluvias de seguridad. Separar y lavar la ropa contaminada, antes de volver a usar.

Nunca comer, beber o fumar en áreas de trabajo. Lavarse siempre las manos, cara y brazos antes de comer, beber o fumar.

9.- Propiedades físicas y químicas

Aspecto y olor: Líquido claro e incoloro de olor suave.

Punto de ebullición: 108° C (356° F)

Punto de fusión: -95° C (-139° F)

Peso molecular: 92.1

Densidad 20/4 °C: 0.8710 gr/ml

Solubilidad en agua: Insoluble en agua.

Otras solubilidades: Soluble en alcoholes, éter, acetona, benceno, cloroformo.

10.- Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Normalmente estable. Evite el contacto con calor, las chispas, la llama y los productos encendidos del tabaco.

Polimerización: No polimeriza. Bajo que condiciones normales la temperatura y presión no se espera que ocurra riesgo de polimerización peligrosa.

Incompatibilidad química: Evitar el contacto con ácido nítrico, ácido nítrico + ácido sulfúrico, el tolueno ataca a plásticos y cauchos desintegrándolos.

Productos de descomposición: Cuando se lo caliente hasta descomposición, emite humos, que incluye dióxido de carbono (CO₂).

11.- Información toxicológica

Absorción: El contacto con los ojos puede causar ceguera y daños en los tejidos. El contacto con la piel puede causar irritación.

Ingestión: Dolor abdominal, náuseas, vómitos, tos, somnolencia, dolor de cabeza, jadeo, debilidad.

Inhalación: Los vapores causan irritación del tracto respiratorio superior con tos, disnea, dolor de cabeza, congestión, salivación, suave deshidratación, bronquitis, neumonitis química y/o edema pulmonar y efectos sobre el sistema nervioso central.

Carcinogénesis: No hay datos.

Órganos de Impacto: Piel, Ojos, Sistema respiratorio, CNS.

12.- Información ecológica

No hay datos disponibles.

13.- Consideraciones sobre disposición

Disposición: No se cita un método preferido de disposición final.
Colocar en recipientes adecuados hasta disposición o quemar en incinerador con doble cámara. Deben observarse métodos de eliminación y disposición aprobados por las autoridades nacionales y locales.

14.- Información de transporte

Transporte terrestre

Acuerdo MERCOSUR – Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas

Nombre para transporte: TOLUENO

Riesgo principal o Clase: 3

Número de UN: 1294

Rótulo: Líquido inflamable

N° de riesgo: 33

Cantidad exenta: 333

Transporte marítimo

Nombre para transporte: TOLUENO

Riesgo principal o Clase: 3

Número de UN: 1294

Rótulo: Líquido inflamable

N° de riesgo: 33

15.- Información regulatoria

Líquido inflamable. Considerado como material de ligero riesgo para la salud y alto riesgo por su inflamabilidad. Figura en el listado del Acuerdo MERCOSUR - Reglamento General de Transporte de Mercancías Peligrosas y en Resolución 444/91 (D.N.S.S.T.).

16.- Información adicional

La información facilitada se considera correcta y confiable, pero se presenta sin garantía o responsabilidad por parte de CÍA. QUÍMICA Y AGROQUÍMICA ARGENTINA S.A. de su aplicación y consecuencias de la misma, por parte del usuario.

FIN DEL DOCUMENTO

Confecionado por: Mauro C. Nupieri
