

ÍNDICE

Pág.

| | |
|--|----|
| Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS | 1 |
| 1.1. Bibliografía | 11 |
| Capítulo 2. ANTECEDENTES | 19 |
| 2.1. Bibliografía | 28 |
| Capítulo 3. SISTEMAS DISPERSOS | 31 |
| 3.1. Conceptos Generales | 31 |
| 3.2. Estabilidad de los Coloides | 33 |
| 3.3. Potencial Zeta | 35 |
| 3.4. Generalidades de las emulsiones | 37 |
| 3.5. Composición de una emulsión | 42 |
| 3.6. Tipos de Emulsiones | 43 |
| 3.7. Formulación Físico-Química | 48 |
| 3.8. Formación y Preparación de emulsiones..... | 49 |
| 3.9. Tensoactivos y Surfactantes..... | 51 |
| 3.9.1. Clasificación de los Tensoactivos..... | 52 |
| 3.9.2. Propiedades Físicas de los Tensoactivos | 54 |
| 3.9.3. Eficiencia de un Tensoactivo en la estabilidad de una emulsión..... | 56 |
| 3.9.4. Hydrophile-Lipophile Balance (HLB)..... | 59 |
| 3.10. Estabilidad y Factores de ruptura de las emulsiones..... | 61 |
| 3.10.1. Sedimentación..... | 64 |
| 3.10.2. Floculación | 65 |
| 3.10.3. Coalescencia | 65 |
| 3.11. Técnicas de ruptura de Emulsiones..... | 66 |
| 3.12. Aplicaciones de las Emulsiones | 68 |
| 3.13. Bibliografía | 75 |

| | |
|---|-----|
| Capítulo 4. PROPIEDADES DIELECTRICAS | 79 |
| 4.1. Introducción | 79 |
| 4.2. Polarización y permitividad compleja | 80 |
| 4.3. Factor de propagación y profundidad de penetración | 84 |
| 4.4. Efecto de la frecuencia en las propiedades dieléctricas | 88 |
| 4.5. Técnicas de medidas de propiedades dieléctricas | 91 |
| 4.5.1. Placas paralelas | 93 |
| 4.5.2. Líneas de transmisión | 94 |
| 4.5.3. Sonda Coaxial | 95 |
| 4.5.4. Cavidades Resonantes | 97 |
| 4.5.4. Técnica de espacio libre | 99 |
| 4.6. Constante dieléctrica de las emulsiones | 102 |
| 4.7. Conductividad de las emulsiones | 106 |
| 4.8. Calentamiento por microondas | 109 |
| 4.9. Bibliografía | 115 |
| | |
| Capítulo 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 123 |
| 5.1. Preparación de Emulsiones | 123 |
| 5.1.1. Materiales | 123 |
| 5.1.2. Equipos | 124 |
| 5.1.3. Protocolo de preparación emulsiones agua en aceite (W/O) | 126 |
| 5.2. Medidas de Propiedades Dieléctricas | 131 |
| 5.2.1. Materiales | 131 |
| 5.2.2. Equipos | 132 |
| 5.2.3. Protocolo de medida de las propiedades dieléctricas | 135 |
| 5.3. Microscopía Electrónica de Barrido | 137 |
| 5.3.1. Materiales | 137 |
| 5.3.2. Equipos | 137 |
| 5.3.3. Protocolo para la toma de micrografías | 138 |
| 5.4. Medida de Conductividad | 140 |
| 5.4.1. Materiales | 140 |
| 5.4.2. Equipos | 140 |
| 5.4.3. Protocolo de medida de conductividad | 141 |
| 5.5. Bibliografía | 143 |

Capítulo 6. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DIELECTRICA DE EMULSIONES PROTOTIPO W/0 145

6.1. Gráficas de permitividad vs frecuencia 145
6.2. Diagramas Cole- Cole a diferentes frecuencias 149
6.3. Gráficas de permitividad vs porcentaje de agua..... 154
6.4. Gráfica de la profundidad de penetración vs porcentaje de agua..... 159
6.5. Propiedades físico-químicas..... 165
6.6. Micrografías mediante la técnica de Microscopia electrónica de barrido a bajas temperaturas (CRYOSEM) 169
 6.6.1. Emulsiones de agua en aceite mineral (SAE40) 170
 6.6.2. Emulsiones de agua en aceite vegetal (ácido oleico)..... 172
6.7. Propiedades físico-químicas..... 175

Capítulo 7. APLICACIONES INDUSTRIALES..... 177

Aplicación de Microondas a emulsiones aceite - agua - lodos provenientes del proceso de extracción de aceite de Palma

7.1. Introducción 177
7.2. Conceptos Teóricos..... 180
 7.2.1. Generalidades del Aceite crudo de palma..... 180
 7.2.2. Proceso de extracción de aceite de palma..... 182
 7.2.3. Fundamentos de sedimentación por gravedad 183
7.3. Materiales y Métodos..... 188
 7.3.1. Reconocimiento del proceso 188
 7.3.2. Primera fase experimental 189
 7.3.3. Segunda fase experimental 193
 7.3.4. Tercera fase experimental 198
7.4. Resultados y Discusión 201
 7.4.1. Resultados primera fase 201
 7.4.2. Resultados segunda fase 201
 7.4.3. Resultados tercera fase 213
7.5. Conclusiones 217
7.6. Bibliografía 219

| | |
|--|-----|
| Capítulo 8. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS | 221 |
| ANEXOS | 229 |
| Anexo A. Descripción de las etapas del Proceso de Extracción de Aceite Crudo de Palma y del Aceite de Palmiste..... | 229 |
| Anexo B. Registro Fotográfico – Corrientes de Proceso Estudiadas | 236 |
| Publicaciones y Congresos | 241 |
| Símbolos | 245 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Capítulo 3. SISTEMAS DISPERSOS

| | |
|--|----|
| Fig. 3.1 La Doble Capa y el Potencial Zeta..... | 36 |
| Fig. 3.2 Molécula de agua con los dipolos correspondientes y su momento dipolar..... | 39 |
| Fig. 3.3 Fijación de tensoactivos a la interfase agua-aceite. I. Partícula de agua en aceite. II. Partícula de aceite en agua..... | 40 |
| Fig. 3.4 Estearato de Sodio..... | 41 |
| Fig. 3.5 Componentes de una Emulsión..... | 42 |
| Fig. 3.6 Tipos de Emulsiones..... | 44 |
| Fig. 3.7 Representación esquemática de una emulsión con fase dispersa aceite, muy empaquetada (gotitas esféricas uniformes $\phi \cong 74$)..... | 47 |
| Fig. 3.8 a) Representación esquemática de una emulsión con fase dispersa aceite de gotitas no uniformes. b) Una emulsión con fase dispersa aceite muy empaquetada de gotitas poliédricas (muy inestables)..... | 48 |
| Fig. 3.9 Clasificación de Tensoactivos..... | 53 |
| Fig. 3.10 Ejemplos de mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las Emulsiones del tipo W/O..... | 63 |
| Fig. 3.11 Ejemplos de Emulsiones..... | 69 |

Capítulo 4. PROPIEDADES DIELECTRICAS

| | |
|---|----|
| Fig. 4.1 Momento dipolar (P) adquirido por el alineamiento de los dipolos en un material ante la presencia de un campo eléctrico externo..... | 81 |
| Fig. 4.2 Propagación de una onda electromagnética en dirección el eje z | 85 |

| | |
|--|----|
| Fig. 4.3 Profundidad de Penetración en un material ($f=2.45$ GHz) | 87 |
| Fig. 4.4 Representación cuantitativa de la parte real e imaginaria de la permitividad en función de la frecuencia, en la que se muestran los efectos de los distintos mecanismos de polarización | 89 |
| Fig. 4.5 Respuesta típica de un material polar. Representación cualitativa de la ecuación de Debye y diagrama Cole-Cole | 90 |
| Fig. 4.6 Técnica de medida de placas paralelas..... | 93 |
| Fig. 4.7 Técnica de medida de líneas de transmisión | 94 |
| Fig. 4.8 Técnica de medida de sonda coaxial | 97 |
| Fig. 4.9 Técnica de medida de cavidades resonantes | 98 |
| Fig. 4.10 Técnicas de medida de espacio libre | 99 |

Capítulo 5. MATERIALES Y METODOS

| | |
|--|-----|
| Fig. 5.1 Agitador Ultraturrax DI25 y vástago de dispersión | 124 |
| Fig. 5.2 Principio de operación en el equipo de emulsificación | 125 |
| Fig. 5.3 Diagrama de flujo para la preparación de las emulsiones W/O | 127 |
| Fig. 5.4 Preparación emulsiones W/O con fase continua SAE 40 | 129 |
| Fig. 5.5 Preparación emulsiones W/O con fase externa ácido oleico (1) | 130 |
| Fig. 5.6 Preparación emulsiones W/O con fase externa ácido oleico (2) | 131 |
| Fig. 5.7 Diagrama de bloques del analizador de redes | 132 |
| Fig. 5.8 (a) Sonda coaxial HP 85070A[3], (b) Sonda coaxial abierta en un extremo y en contacto con un material | 134 |
| Fig. 5.9 Sistema de medida de propiedades dieléctricas | 136 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 5.10 Sistema de medida de propiedades dieléctricas: a) Analizador de redes vectoriales (ZVRE Rodhe & Schwarz) y sonda coaxial con una emulsión W/O b) Sonda coaxial (HP 85070B)..... | 137 |
| Fig. 5.11 Complemento del Microscopio Electrónico de Barrido para Cryo-SEM..... | 139 |
| Fig. 5.12 Sistema de toma de micrografías: a) Cryostage cryo-Trans CT-1λ 500C de Oxford Instruments b) Microscopio electrónico de barrido (Cryo-Sem) JEOL JSM5410..... | 140 |
| Fig. 5.13 (a) Conductímetro marca CONSORT modelo C830 y (b) Electrodo de conductividad SK20B..... | 141 |
| Fig. 5.14 Diagrama de flujo para la medida de la conductividad de las emulsiones W/O | 142 |

Capítulo 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---|-----|
| Fig. 6.1 Variación de la permitividad compleja de emulsiones W/O con fase externa ácido oleico vs frecuencia..... | 147 |
| Fig. 6.2 Variación de la permitividad compleja de emulsiones W/O con fase externa SAE 40 vs frecuencia..... | 148 |
| Fig. 6.3 Diagrama Cole-Cole de emulsiones W/O ($f = 1$ GHz)..... | 150 |
| Fig. 6.4 Diagrama Cole-Cole de emulsiones W/O ($f = 2$ GHz)..... | 151 |
| Fig. 6.5 Diagrama Cole-Cole de emulsiones W/O ($f = 3$ GHz)..... | 152 |
| Fig. 6.6 Diagrama Cole-Cole de emulsiones W/O ($f = 4$ GHz)..... | 153 |
| Fig. 6.7 Constante dieléctrica de emulsiones W/O vs porcentaje de agua ($f = 2.45$ GHz)..... | 155 |
| Fig. 6.8 Variación de la tangente de pérdidas de emulsiones W/O con el porcentaje de agua ($f = 2.45$ GHz)..... | 156 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 6.9 Permitividad compleja de las emulsiones agua –SAE40 vs porcentaje de agua ($f= 2.45$ GHz) | 157 |
| Fig. 6.10 Permitividad compleja de las emulsiones agua –ácido oleico vs porcentaje de agua ($f= 2.45$ GHz)..... | 159 |
| Fig. 6.11 Potencia vs distancia de penetración de emulsiones con fase externa SAE40 ($f=2.45$ GHz) | 160 |
| Fig. 6.11 Potencia vs distancia de penetración de emulsiones con fase externa SAE40 ($f=2.45$ GHz) | 160 |
| Fig. 6.12 Potencia vs distancia de penetración de emulsiones con fase externa ácido oleico ($f= 2.45$ GHz) | 161 |
| Fig. 6.13 Profundidad de penetración vs porcentaje de agua ($f= 2.45$ GHz)..... | 162 |
| Fig. 6.14 Distribución de la potencia de microondas en una tubería de 20 cm (15W/850 fase externa SAE 40)..... | 163 |
| Fig. 6.15 Distribución de la potencia de microondas en una tubería de 20 cm (15W/850 fase externa ácido oleico) | 164 |
| Fig. 6.16 Emulsión W/O con 15% de agua por volumen | 170 |
| Fig. 6.17 Emulsión W/O con 30% de agua por volumen | 170 |
| Fig. 6.17 Emulsión W/O con 30% de agua por volumen | 170 |
| Fig. 6.18 Emulsión W/O con 40% de agua por volumen | 171 |
| Fig. 6.19 Emulsión W/O con 50% de agua por volumen | 171 |
| Fig. 6.20 Emulsión W/O con 15% de agua en volumen..... | 173 |
| Fig. 6.21 Emulsión W/O con 40% de agua en volumen..... | 173 |
| Fig. 6.22 Emulsión W/O con 50% de agua en volumen..... | 174 |

Capítulo 7. APLICACIONES INDUSTRIALES

| | |
|--|-----|
| Fig. 7.1 Cultivos de Palma Africana (a) y su fruto (b) | 180 |
| Fig. 7.2 Zonas Palmeras de Colombia | 181 |
| Fig. 7.3 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma | 183 |
| Fig. 7.4 Esquema de zonas de sedimentación correspondientes a las gráficas de tiempo de sedimentación vs altura de líquido claro en la interfase | 185 |
| Fig. 7.5 Proceso de extracción de aceite de palma y las corrientes seleccionadas para ser estudiadas | 189 |
| Fig. 7.6 Montaje para las pruebas de sedimentación | 191 |
| Fig. 7.7 Representación general del cálculo de la composición volumétrica | 192 |
| Fig. 7.8 Esquema de preparación de las diluciones de la corriente de licor de prensa | 195 |
| Fig. 7.9 Esquema de la parte experimental | 200 |
| Fig. 7.10 Comportamiento de la relación de dilución experimental vs relación de dilución calculada | 202 |
| Fig. 7.11 Perfiles de velocidad para licor de prensa ($\lambda = 2.5$) y recuperados de centrífuga | 207 |
| Fig. 7.12 Perfil de eficiencia de sedimentación de LP con y sin tratamiento con microondas para $\lambda=1.5$ y $\lambda=2.5$ ($t_{exp MW} = 30$ s) | 208 |
| Fig. 7.13 Perfil de eficiencia de sedimentación de RC y muestra sin tratamiento con MW ($t_{exp MW} = 20$ s) | 210 |
| Fig. 7.14 Comportamiento de la Eficiencia de Sedimentación respecto a los tiempos de exposición a) para RC, b) para LP con $\lambda=2.5$ | 212 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Fig. B.1 Ubicación Planta de Beneficio Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. | 236 |
| Fig. B.2 Punto de muestreo para condensados de esterilización | 237 |
| Fig. B.3 Punto de muestreo para descargas del ciclón desarenador | 237 |
| Fig. B.4 Punto de muestreo para entrada a florentinos..... | 237 |
| Fig. B.5 Punto de muestreo para salida de efluentes hacia lagunas | 238 |
| Fig. B.6 Punto de muestreo para licor de prensa sin dilución | 238 |
| Fig. B.7 Punto de muestreo para recuperados de centrifuga | 239 |