

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>0. OBJETIVOS .....</b>                                            | <b>1</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                                          | <b>4</b>  |
| 1. DEFINICIÓN DE DESTILACIÓN .....                                   | 5         |
| 2. DESTILACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS: TEORÍA Y PRÁCTICA GENERAL.....      | 5         |
| 3. PURIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS POR DESTILACIÓN .....           | 8         |
| 4. EQUIPOS DE DESTILACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS .....                     | 8         |
| 4.1. Método Wecker .....                                             | 9         |
| 4.2. Método Mills .....                                              | 11        |
| 5. DESTILACIÓN FRACCIONADA DE LOS ÁCIDOS GRASOS .....                | 13        |
| 6. OTROS MÉTODOS DE SEPARACIÓN .....                                 | 16        |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                    | 17        |
| <b>II. GENERALIDADES.....</b>                                        | <b>18</b> |
| 1. PROCESOS DE SEPARACIÓN .....                                      | 19        |
| 1.1. Concepto de etapa de equilibrio .....                           | 19        |
| 2. FUNDAMENTOS DE DESTILACIÓN .....                                  | 21        |
| 2.1. Volatilidades.....                                              | 21        |
| 2.2. Relaciones de equilibrio.....                                   | 23        |
| 2.2.1. Conceptos básicos.....                                        | 24        |
| 2.2.2. Diagramas característicos.....                                | 27        |
| 2.2.3. Soluciones ideales y no ideales .....                         | 29        |
| 2.2.3.1. Sistemas ideales .....                                      | 30        |
| 2.2.3.2. Sistemas no ideales.....                                    | 33        |
| 2.2.4. Grados de libertad.....                                       | 38        |
| 2.2.5. Relaciones de equilibrio para sistemas multicomponentes ..... | 38        |
| 2.2.5.1. Temperatura de punto de burbuja .....                       | 39        |
| 2.2.5.2. Temperatura de punto de rocío .....                         | 40        |
| 2.2.5.3. Aplicación a sistemas no ideales .....                      | 41        |
| 3. OPERACIONES DE SEPARACIÓN .....                                   | 42        |
| 3.1. Destilaciones continuas de un solo paso .....                   | 42        |
| 3.2. Destilaciones continuas con varias etapas .....                 | 43        |
| 3.3. Presión de destilación.....                                     | 47        |
| 4. EQUIPOS PARA LA DESTILACIÓN DE ETAPAS MÚLTIPLES .....             | 49        |
| 4.1. Platos de destilación .....                                     | 50        |

|                                                                                            |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 4.1.1. Platos de flujo transversal .....                                                   | 50            |
| 4.1.2. Platos de regadera.....                                                             | 53            |
| 4.2. Empaques.....                                                                         | 53            |
| 4.2.1. Empaques de uso general .....                                                       | 54            |
| 4.2.2. Empaques de alta eficiencia .....                                                   | 55            |
| 4.2.2. Columnas de relleno ante columnas de platos .....                                   | 55            |
| 5. CRITERIOS DE PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA ELECCIÓN DEL<br>SEPARADOR .....                | 57            |
| 5.1. Otros factores en la elección del separador .....                                     | 57            |
| 5.2. Separadores basados en el contacto continuo entre fases .....                         | 58            |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                          | 60            |
| <br><b>III. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y LA ESTABILIDAD DE LOS ÁCIDOS<br/>GRASOS .....</b> | <br><b>61</b> |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                                                      | 62            |
| 2. NOMENCLATURA Y CLASIFICACIÓN .....                                                      | 62            |
| 2.1. Acilgliceroles .....                                                                  | 63            |
| 2.1.1. Mono y diacilgliceroles .....                                                       | 63            |
| 2.1.2. Triacilgliceroles. ....                                                             | 64            |
| 2.2. Ácidos grasos .....                                                                   | 65            |
| 2.2.1. Ácidos grasos saturados.....                                                        | 68            |
| 2.2.2. Ácidos grasos insaturados.....                                                      | 70            |
| 2.2.2.1. Ácidos grasos insaturados con un solo doble enlace .....                          | 71            |
| 2.2.2.2. Ácidos grasos insaturados con dos dobles enlaces .....                            | 72            |
| 3. PROPIEDADES FÍSICAS .....                                                               | 73            |
| 3.1. Untuosidad y viscosidad .....                                                         | 74            |
| 3.2. Tensión superficial e interfacial .....                                               | 75            |
| 3.3. Densidad y expansibilidad .....                                                       | 75            |
| 3.4. Puntos de fusión .....                                                                | 76            |
| 3.5. Propiedades térmicas .....                                                            | 77            |
| 3.5.1. Calor de combustión .....                                                           | 77            |
| 3.5.2. Calores específicos. Calores de fusión o cristalización .....                       | 78            |
| 3.5.3. Punto de ebullición.....                                                            | 79            |
| 3.5.4. Presión de vapor. Calor de vaporización .....                                       | 79            |
| 3.5.5. Calores de disolución.....                                                          | 81            |
| 3.5.6. Conductividad térmica.....                                                          | 81            |
| 3.6. Puntos de humo, inflamación y de combustión .....                                     | 81            |
| 3.7. Solubilidad mutua de las grasas y de los ácidos grasos con el agua.....               | 83            |
| 3.8. Propiedades ópticas .....                                                             | 84            |
| 3.8.1. Índice de refracción.....                                                           | 84            |
| 3.8.2. Características espectrales.....                                                    | 86            |
| 3.9. Propiedades eléctricas.....                                                           | 87            |
| 3.9.1. Resistencia.....                                                                    | 87            |
| 3.9.2. Constante dieléctrica.....                                                          | 87            |

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4. PROPIEDADES QUÍMICAS. REACCIONES .....                                     | 87         |
| 4.1. Hidrólisis .....                                                         | 88         |
| 4.2. Hidrogenación.....                                                       | 89         |
| 4.3. Oxidación atmosférica. Enranciamiento .....                              | 91         |
| 4.4. Descomposición térmica.....                                              | 95         |
| 4.4.1. Reacciones térmicas no oxidativas de las grasas saturadas .....        | 96         |
| 4.4.2. Reacciones de oxidación térmica de las grasas saturadasT .....         | 96         |
| 4.5. Polimerización.....                                                      | 99         |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                             | 101        |
| <br><b>IV. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN.....</b>                                | <b>102</b> |
| 1. HIDRÓLISIS DE LAS GRASAS .....                                             | 103        |
| 1.1. Principios de la hidrólisis.....                                         | 104        |
| 1.2. Método de hidrólisis aplicado en la planta .....                         | 105        |
| 2. SEPARACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS POR DESTILACIÓN .....                      | 106        |
| 2.1. Selección del método de destilación más apropiado .....                  | 107        |
| 2.1.1. Destilación a vapor .....                                              | 107        |
| 2.1.2. Destilación a vacío.....                                               | 108        |
| 3. HIDROGENACIÓN .....                                                        | 110        |
| 3.1. Mecanismo de hidrogenación .....                                         | 111        |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                             | 112        |
| <br><b>V. MÉTODOS DE CÁLCULO.....</b>                                         | <b>113</b> |
| 1. MÉTODO UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DE LA COLUMNA DE<br>DESTILACIÓN .....     | 114        |
| 1.1. Método utilizado para el cálculo del número de etapas de equilibrio..... | 114        |
| 1.1.1. Métodos gráficos.....                                                  | 117        |
| 1.1.2. Método gráfico simplificado .....                                      | 117        |
| 1.2. Método utilizado para el cálculo de la altura de la columna.....         | 130        |
| 1.3. Cálculo del diámetro de la columna.....                                  | 131        |
| 1.4. Cálculo de la etapa óptima para la introducción de la alimentación ..... | 133        |
| 1.5. Cálculo del reflujo mínimo.....                                          | 134        |
| 1.5.1. Ecuación de Underwood.....                                             | 134        |
| 2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD .....                             | 137        |

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3. CÁLCULO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR .....                                                  | 141        |
| 3.1. Características generales de los equipos .....                                            | 141        |
| 3.2. Resumen del método empleado .....                                                         | 141        |
| 3.3. Método de cálculo .....                                                                   | 142        |
| 3.3.1. Balance de materia y energía .....                                                      | 143        |
| 3.3.2. Asignación de flujos. Propiedades de los fluidos .....                                  | 143        |
| 3.3.3. Cálculo de los valores corregidos de la diferencia media de T .....                     | 144        |
| 3.3.4. Definición del tipo de intercambiador .....                                             | 146        |
| 3.3.5. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor .....                            | 147        |
| 3.3.6. Cálculo de la superficie de intercambio estimada .....                                  | 151        |
| 3.3.7. Selección del tamaño de casco adecuado .....                                            | 151        |
| 3.3.8. Pérdida de carga en tubos .....                                                         | 153        |
| 3.3.9. Pérdida de carga en carcasa .....                                                       | 155        |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                             | 159        |
| <br><b>VI. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA .....</b>                                             | <b>160</b> |
| 1. BALANCES DE MATERIA .....                                                                   | 161        |
| 2. BALANCES DE ENERGÍA .....                                                                   | 164        |
| 2.1. Intercambiador de calor HE-1 .....                                                        | 164        |
| 2.2. Rehervidor: HE-2 .....                                                                    | 166        |
| 2.3. Condensador HE-3 .....                                                                    | 168        |
| <br><b>VII. CÁLCULO DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN .....</b>                                        | <b>171</b> |
| 1. DISEÑO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN .....                                                   | 173        |
| 1.1. Cálculo del número de etapas de equilibrio .....                                          | 173        |
| 1.1.1. Premisas y restricciones .....                                                          | 173        |
| 1.1.2. Identificación de los componentes clave .....                                           | 174        |
| 1.1.3. Composición del flujo de alimentación, domo y colas .....                               | 176        |
| 1.1.4. Cálculo de los coeficientes de actividad .....                                          | 178        |
| 1.1.5. Cálculo de las constantes de Antoine para cada uno de los<br>componentes .....          | 183        |
| 1.1.6. Cálculo de la temperatura de burbuja .....                                              | 185        |
| 1.1.7. Cálculo de la temperatura de rocío .....                                                | 186        |
| 1.1.8. Cálculo de los coeficientes de actividad a las temperaturas de burbuja y<br>rocío ..... | 187        |
| 1.1.9. Cálculo de las presiones parciales .....                                                | 188        |
| 1.1.10. Cálculo de los cocientes de equilibrio .....                                           | 188        |
| 1.1.11. Cálculo de las volatilidades relativas .....                                           | 189        |
| 1.1.12. Cálculo de los valores X-Y para el componente clave ligero .....                       | 190        |
| 1.1.13. Obtención de la curva de equilibrio para el componente más volátil ..                  | 191        |
| 1.1.14. Cálculo de los flujos limitantes para los componentes no clave .....                   | 193        |
| 1.1.15. Cálculo del reflujo mínimo .....                                                       | 195        |
| 1.1.16. Cálculo de flujos limitantes máximos para componentes no clave .....                   | 198        |
| 1.1.17. Cálculo de las pendientes de operación .....                                           | 199        |

|                                                                               |                |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1.1.18. Cálculo de los extremos de las líneas de operación.....               | 199            |
| 1.1.19. Trazado del diagrama Mc-Cabe Thiele modificado .....                  | 200            |
| 1.2. Cálculo de la altura de la columna.....                                  | 201            |
| 1.3. Cálculo del diámetro de la columna.....                                  | 202            |
| 1.4. Cálculo de la etapa óptima para la introducción de la alimentación ..... | 204            |
| <br>2. CÁLCULO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR .....                         | <br>206        |
| 2.1. Intercambiador HE-1.....                                                 | 206            |
| 2.1.1. Balance de materia y energía .....                                     | 206            |
| 2.1.2. Asignación de flujos. Propiedades de los fluidos .....                 | 207            |
| 2.1.3. Valor corregido de la diferencia media de temperatura .....            | 208            |
| 2.1.4. Definición del tipo de intercambiador .....                            | 209            |
| 2.1.5. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor .....           | 210            |
| 2.1.6. Cálculo de la superficie de intercambio estimada.....                  | 212            |
| 2.1.7. Pérdida de carga en tubos .....                                        | 213            |
| 2.1.8. Pérdida de carga en carcasa .....                                      | 214            |
| 2.2. Intercambiador HE-1. Rehervidor .....                                    | 216            |
| 2.2.1. Balance de materia y energía .....                                     | 216            |
| 2.2.2. Asignación de flujos. Propiedades de los fluidos .....                 | 217            |
| 2.2.3. Valor corregido de la diferencia media de temperatura .....            | 218            |
| 2.2.4. Definición del tipo de intercambiador .....                            | 219            |
| 2.2.5. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor .....           | 220            |
| 2.2.6. Cálculo de la superficie de intercambio estimada.....                  | 222            |
| 2.2.7. Pérdida de carga en tubos .....                                        | 222            |
| 2.2.8. Pérdida de carga en carcasa .....                                      | 223            |
| 2.3. Intercambiador HE-1. Condensador .....                                   | 226            |
| 2.3.1. Balance de materia y energía .....                                     | 226            |
| 2.3.2. Asignación de flujos. Propiedades de los fluidos .....                 | 227            |
| 2.3.3. Valor corregido de la diferencia media de temperatura .....            | 228            |
| 2.3.4. Definición del tipo de intercambiador .....                            | 229            |
| 2.3.5. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor .....           | 230            |
| 2.3.6. Cálculo de la superficie de intercambio estimada.....                  | 232            |
| 2.3.7. Pérdida de carga en tubos .....                                        | 232            |
| 2.3.8. Pérdida de carga en carcasa .....                                      | 233            |
| <br><b>VIII. MEMORIA .....</b>                                                | <br><b>235</b> |
| <br><b>ANEXO I: HOJAS DE ESPECIFICACIONES</b>                                 |                |
| <br><b>ANEXO II: ESTIMACIÓN DE COSTES</b>                                     |                |
| <br><b>ANEXO III: FICHAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD</b>                            |                |
| <br><b>ANEXO IV: PROGRAMAS MATEMÁTICOS UTILIZADOS</b>                         |                |
| <br><b>ANEXO V: PLANOS</b>                                                    |                |