|  |  |
| --- | --- |
| **1. OBJETO** | **1** |
| **2. CONSIDERACIONES BÁSICAS** | **3** |
| **2.1. INDUSTRIA LÁCTEA** | **4** |
| **2.1.1. Leche de vaca** | **5** |
| **2.1.2. Derivados lácteos** | **5** |
| **2.2. LACTOSUERO** | **7** |
| **2.2.1. Composición** | **7** |
| **2.2.2. Propiedades** | **8** |
| **2.2.3. Técnicas de aprovechamiento** | **9** |
| **2.3. LACTOSA** | **10** |
| **2.3.1. Definición y características** | **10** |
| **2.3.2. Aprovechamiento de la lactosa** | **10** |
| **2.4. FRUCTOSA** | **11** |
| **2.5. SORBITOL** | **12** |
| **2.6. ÁCIDO LACTOBIÓNICO** | **13** |
| **2.6.1. Proceso de producción del ácido lactobiónico** | **13** |
| **3. MEMORIA** | **16** |
| **3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES** | **17** |
| **3.2. DIAGRAMA DE FLUJO** | **18** |
| **3.3. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LACTOBIÓNICO** | **19** |
| **3.4. SEPARACIÓN DE ÁCIDO LACTOBIÓNICO** | **20** |
| **3.4.1. Métodos de separación** | **20** |
| *3.4.1.1. Separación por destilación* | *20* |
| *3.4.1.2. Separación por extracción líquido-líquido* | *21* |
| *3.4.1.3. Separación por membranas* | *22* |
| *3.4.1.4. Electrodiálisis* | *23* |
| *3.4.1.5. Separación por cromatografía en lecho móvil simulado (SMB): la alternativa seleccionada* | *23* |
| **3.5. SEPARACIÓN SIMULTÁNEA EN SISTEMA DE LECHO MÓVIL SIMULADO (SMB)** | **24** |
| **3.5.1. Antecedentes a la tecnología SMB: Cromatografía por etapas** | **24** |
| **3.5.2. Conceptos teóricos: TMB y SMB** | **25** |
| **3.5.3. Proceso de separación** | **29** |
| **3.6. CORRIENTES PRINCIPALES** | **31** |
| **3.7. DISEÑO DE EQUIPOS PRINCIPALES** | **32** |
| **3.7.1. Columna de adsorción** | **32** |
| *3.7.1.1. Determinación del volumen* | *33* |
| *3.7.1.2. Determinación de la superficie y del diámetro de la columna* | *36* |
| *3.7.1.3. Determinación de la altura de la columna* | *38* |
| *3.7.1.4. Determinación de la caída de presión de la columna* | *38* |
| **3.8. DISEÑO DE EQUIPOS AUXILIARES** | **40** |
| **3.8.1. Sistema de tuberías** | **40** |
| **3.8.2. Bombas de impulsión y válvulas** | **42** |
| **3.8.3. Tanques de almacenamiento** | **46** |
| **4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD E IMPACTO AMBIENTAL** | **48** |
| **4.1. NORMATIVA DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTAL** | **49** |
| **4.1.1. Normativa de seguridad** | **49** |
| *4.1.1.1. Real Decreto 485/1997, de 14 de abril* | *49* |
| *4.1.1.2. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril* | *50* |
| *4.1.1.3. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo* | *50* |
| *4.1.1.4. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio* | *50* |
| *4.1.1.5. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril* | *50* |
| **4.1.2. Normativa de protección medioambiental** | **50** |
| *4.1.2.1. Ley 21/2013, de 9 de diciembre* | *50* |
| *4.1.2.2. Ley 16/2002, de 1 de julio* | *50* |
| *4.1.2.3. Ley 22/2011, de 28 de julio* | *51* |
| *4.1.2.4. Ley 26/2007, de 23 de octubre* | *51* |
| **4.2. PELIGROSIDAD DE LOS EQUIPOS DE TRABAJO** | **51** |
| **4.2.1. Riesgos eléctricos** | **51** |
| **4.2.2. Riesgos mecánicos** | **53** |
| **4.2.3. Riesgos de incendios** | **53** |
| **4.3. PELIGROSIDAD DE LOS COMPUESTOS** | **54** |
| **4.3.1. Lactosa, fructosa, ácido lactobiónico y sorbitol** | **55** |
| **4.4. SEGURIDAD EN PLANTA** | **55** |
| **4.5. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES** | **56** |
| **4.6. IMPACTO AMBIENTAL** | **56** |
| **5. EVALUACIÓN ECONÓMICA** | **59** |
| **5.1. ESTIMACIÓN DE COSTES** | **60** |
| **5.2. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN** | **63** |
| **5.3. COSTES DE OPERACIÓN** | **65** |
| **5.3.1. Costes de producción.** | **65** |
| *5.3.1.1. Coste de las materias primas* | *65* |
| *5.3.1.2. Coste de servicios* | *65* |
| **5.4. INGRESOS POR VENTAS** | **66** |
| **5.5. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD** | **67** |
| **6. DIAGRAMAS DE FLUJO** | **71** |
| **6.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO** | **72** |
| **6.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO** | **73** |
| **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** | **74** |
| **APÉNDICES** | **86** |
| 1. **PROPIEDADES** | **87** |
| 1. **LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS** | **88** |
| 1. **CÁLCULOS** | **91** |
| **C.1. DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN** | **91** |
| **C.1.1. Determinación del volumen** | **91** |
| ***C.1.2. Determinación de la superficie y del diámetro de la columna*** | **95** |
| ***C.1.3. Determinación de la altura de la columna*** | **96** |
| **C.1.4. Determinación de la caída de presión de la columna** | **97** |
| **C.2. DISEÑO DE TUBERÍAS** | **99** |

|  |  |
| --- | --- |
| **C.2.1. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción** | 99 |
| **C.2.2. Tramo de tubería desde la bifurcación del tanque de almacenamiento del eluyente hasta la primera columna de adsorción** | 101 |
| **C.2.3. Tramo de tubería desde la primera columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA)** | 101 |
| **C.2.4. Tramo de tubería desde la primera columna hasta la segunda columna de adsorción** | 102 |
| **C.2.5. Tramo de tubería desde la bifurcación del tanque de almacenamiento del eluyente hasta la segunda columna de adsorción** | 103 |
| **C.2.6. Tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del sorbitol (S)** | 103 |
| **C.2.7. Tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento final** | 104 |
| **C.3. DISEÑO DE BOMBAS DE IMPULSIÓN** | 104 |
| **C.3.1. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción** | 104 |
| **C.3.2. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la bifurcación para las columnas de adsorción** | 108 |
| **C.3.3. Tramo de tubería desde la primera columna hasta la primera columna hasta la segunda columna de adsorción** | 108 |
| **C.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO** | 109 |
| **C.4.1. Tanque de almacenamiento de los productos de reacción** | 109 |
| **C.4.2. Tanque de almacenamiento del eluyente (agua)** | 110 |
| **C.4.3. Tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA)** | 110 |
| **C.4.4. Tanque de almacenamiento del sorbitol (S)** | 111 |
| **C.4.5. Tanque de almacenamiento de la mezcla que se recirculará al reactor enzimático** | 111 |
| **C.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA** | 112 |
| **C.5.1. Costes directos** | 114 |
| *C.5.1.1. Coste de tanques de almacenamiento* | 114 |
| *C.5.1.2. Coste de la columna de adsorción* | 120 |
| *C.5.1.3. Coste de las bombas* | 121 |
| **C.5.2. Inversión** | 124 |
| **C.5.3. Costes de operación** | 124 |
| *C.5.3.1. Costes de servicios* | 124 |
| **C.5.4. Viabilidad económica** | 127 |
| **D. HOJAS DE SEGURIDAD** | 129 |
| **D.1. LACTOSA** | 129 |
| **D.2. FRUCTOSA** | 137 |
| **D.3. ÁCIDO LACTOBIÓNICO** | 145 |
| **D.4. SORBITOL** | 148 |
| **D.5. COMPLEJO ENZIMÁTICO GFOR/GL DE ZYMOMONAS MOBILIS** | 161 |