

A mis padres, por su apoyo incondicional

RESUMEN

El lactosuero es uno de los productos más contaminantes del sector lácteo debido a la elevada cantidad de materia orgánica que contiene. Hasta ahora considerado como un residuo, a pesar de que es posible su uso como materia prima en la industria de derivados lácteos.

Con el objetivo de minimizar el impacto que produce su vertido, se propone una alternativa de aprovechamiento del lactosuero a partir de su componente principal, la lactosa.

En este proyecto se diseña la etapa de separación de un producto de alto valor añadido como es el ácido lactobiónico. La reacción que tiene lugar estará catalizada por el complejo enzimático glucosa-fructosa oxidoreductasa (GFOR) y glucono - δ - lactonasa (GL) cuyas materias primas, lactosa y fructosa, generan ácido lactobiónico como producto principal y sorbitol como subproducto. La metodología aplicada para el desarrollo del proceso comienza con el análisis y selección de los equipos adecuados y finaliza con su diseño.

A lo largo de todo el proceso de diseño y de cara al posible futuro desarrollo del proceso se realiza una evaluación preliminar de los riesgos ambientales o problemas de seguridad, que puedan derivarse de la operación de la planta. Finalmente, se ha evaluado la viabilidad económica del proyecto.

EXECUTIVE SUMMARY

Whey is one of the most polluting products in the dairy sector due to the high quantity of organic matter that it contains. Until now considered as a waste, in spite of its possible use as raw material in dairy product industry.

With the aim of minimizing the impact produced by dumping, an alternative is proposed in order to take advantage of whey out of its main component, the lactose.

In this project the separation stage of a high added value product is designed, as it is the lactobionic acid. The reaction which takes place will be catalyzed by the enzymatic complex glucose-fructose oxidoreductase (GFOR) and glucono - δ - lactonase (GL) whose raw materials, lactose and fructose, generate lactobionic acid as the main product and sorbitol as a by-product. The methodology applied to the process begins with analysis and selection of the appropriate equipment and it finishes with its design.

Throughout all the design process and for the possible future development of the installation, a preliminary risk evaluation has been made. In this study are approach either ambient and security risks. Finally, the project viability is assessed.

ÍNDICE

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 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
A. PROPIEDADES	87
B. LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	88
C. 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 $L + F + H_2O$ 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 ZYMO MONAS MOBILIS	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.	Composición en g/L de los diferentes tipos de lactosuero: dulce y ácido	8
Tabla II.	Composición de la corriente de alimentación del proceso	32
Tabla III.	Composición de los compuestos que entran a la primera columna de adsorción	34
Tabla IV.	Composición de los compuestos que entran a la segunda columna de adsorción	35
Tabla V.	Diámetro y área calculados aplicando el factor de seguridad para la primera columna de adsorción	37
Tabla VI.	Diámetro y área calculados aplicando factor de seguridad para la segunda columna de adsorción	38
Tabla VII.	Datos obtenidos para las columnas de adsorción presentes en la planta	40
Tabla VIII.	Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías	41
Tabla IX.	Velocidad de circulación de fluido y diámetro de tubería para cada tramo de tubería de las tuberías empleadas en toda la planta	42
Tabla X.	Factores de pérdidas por fricción y longitudes equivalentes relativas en accesorios	45
Tabla XI.	Valores de las potencias presentes en la planta	46
Tabla XII.	Capacidad y dimensiones de los tanques presentes en la planta	47
Tabla XIII.	Sistemas de protección contemplados en la ITC-BT-24 del reglamento electrotécnico para baja tensión	53
Tabla XIV.	Coste total de adquisición e instalación de los tanques de almacenamiento presentes en la planta	62
Tabla XV.	Coste total de adquisición e instalación de los equipos principales presentes en la planta	62
Tabla XVI.	Coste total de adquisición e instalación de las bombas centrífugas presentes en la planta	62
Tabla XVII.	Coste de los equipos presentes en el proceso, teniendo en cuenta el precio de envío y el cambio de divisa	63

Tabla XVIII.	Costes directos calculados a partir del coste de compra y suministro total de los equipos	64
Tabla XIX.	Costes indirectos calculados a partir del coste de compra y suministro total de los equipos	64
Tabla XX.	Inversión de capital total necesaria para la puesta en marcha del proyecto	65
Tabla XXI.	Coste de la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta	65
Tabla XXII.	Coste del agua necesaria para el funcionamiento de la planta	66
Tabla XXIII.	Coste de la mano de obra necesaria para llevar a cabo el proyecto	66
Tabla XXIV.	Precio de venta de los productos obtenidos en la planta	67
Tabla XXV.	Propiedades del agua líquida en función de la temperatura	87
Tabla XXVI.	Propiedades de los compuestos utilizados durante el proceso	87
Tabla XXVII.	Representación de los símbolos utilizados	88
Tabla XXVIII.	Representación de las abreviaturas utilizadas	90
Tabla XXIX.	Tamaños nominales de tubería y sus características	100
Tabla XXX.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción	101
Tabla XXXI.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la primera columna de adsorción	101
Tabla XXXII.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la primera columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico	102
Tabla XXXIII.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la primera columna hasta la segunda columna de adsorción	102
Tabla XXXIV.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la bifurcación del tramo de tubería del eluyente hasta la segunda columna de adsorción	103
Tabla XXXV.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico	103

Tabla XXXVI.	Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento final, donde se almacena la disolución formada por $L + F + H_2O$ que se recirculará al reactor enzimático	104
Tabla XXXVII.	Factores de pérdidas por fricción y longitudes equivalentes relativas en accesorios	106
Tabla XXXVIII.	Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el primer tramo de tubería	107
Tabla XXXIX.	Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el segundo tramo de tubería	108
Tabla XL.	Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el tercer tramo de tubería	108
Tabla XLI.	Dimensionado del tanque de almacenamiento de los productos de reacción	110
Tabla XLII.	Dimensionado del tanque de almacenamiento del eluyente (agua)	110
Tabla XLIII.	Dimensionado del tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA)	111
Tabla XLIV.	Dimensionado del tanque de almacenamiento del sorbitol (S)	111
Tabla XLV.	Dimensionado del tanque de almacenamiento de la mezcla $L + F + H_2O$ que se recirculará al reactor enzimático	112
Tabla XLVI.	Factores de tipo de material (FI) para diferentes tipos de Acero	113
Tabla XLVII.	Coste de instalación de equipos	113
Tabla XLVIII.	Índices de costes para diferentes años	114
Tabla XLIX.	Coste de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso	117
Tabla L.	Coste de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso dependiendo del tipo de material	117
Tabla LI.	Coste actualizado de los tanques de almacenamiento una vez instalados	118
Tabla LII.	Índice de costes CEPCI para Junio de 2017	119
Tabla LIII.	Coste actualizado de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso	119
Tabla LIV.	Coste de instalación de las columnas de adsorción en el año 2002	120
Tabla LV.	Coste de las columnas de adsorción teniendo en cuenta el material de fabricación y el coste de instalación en el año 2002	121

Tabla LVI.	Coste actualizado de las columnas de adsorción	121
Tabla LVII.	Coste de adquisición de las bombas centrífugas en el año 2002	122
Tabla LVIII.	Coste de las bombas centrífugas en el año 2002 teniendo en cuenta el material de fabricación	123
Tabla LIX.	Coste de instalación de las bombas centrífugas en el año 2002	123
Tabla LX.	Coste actualizado de las bombas centrífugas presentes en el proceso, teniendo en cuenta el tipo de material de fabricación y el coste de la instalación	123
Tabla LXI.	Porcentajes para estimar la inversión del capital necesaria	124
Tabla LXII.	Coste de servicios y de personal	125
Tabla LXIII.	Coste de consumo eléctrico al año en la planta	125
Tabla LXIV.	Coste de la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta	126
Tabla LXV.	Coste del agua necesaria para el funcionamiento de la planta	126
Tabla LXVI.	Coste de personal al año en la planta	127
Tabla LXVII.	Flujo de caja libre del proyecto en los 5 primeros años	127
Tabla LXVIII.	Flujo de caja libre del proyecto en 10 años	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfico comparativo del sector lácteo en Asturias y en España	4
Figura 2.	Ciclo de vida de las tecnologías relacionadas con derivados lácteos	6
Figura 3.	Estructura de la lactosa	10
Figura 4.	Estructura de la fructosa	12
Figura 5.	Estructura del sorbitol	12
Figura 6.	Estructura del ácido lactobiónico	13
Figura 7.	Esquema de la reacción de oxidación de lactosa a ácido lactobiónico	14
Figura 8.	Esquema de la reacción de oxidación de lactosa a ácido lactobiónico mediante el uso del complejo enzimático GFOR/GL	15
Figura 9.	Diagrama de bloques del proceso general de obtención de ácido lactobiónico	17
Figura 10.	Diagrama de bloques de las etapas de separación de productos	17
Figura 11.	Diagrama de flujo de las etapas de separación de productos.	18
Figura 12.	Esquema de una columna de destilación continua	21
Figura 13.	Representación esquemática de un proceso de separación por membranas	22
Figura 14.	Modo de operación en cromatografía discontinua por etapas	25
Figura 15.	Esquema de un sistema de cromatografía en contracorriente en lecho móvil verdadero (TMB) para la separación de dos componentes A y B	27
Figura 16.	Esquema de un proceso SMB con 8 columnas. F (alimentación); R (refinado); D (desorbente); E (extracción)	28
Figura 17.	Esquema de sistemas cromatográficos para la separación de la mezcla de la oxidación de la lactosa mediante el uso de células Z. Mobilis, mediante una unidad SMB 1 (para separar LBA) conectada a otra unidad SMB 2 (para recuperar el sorbitol y permitir el reciclaje de los sustratos)	30
Figura 18.	Diagrama de bloques del proceso	31

Figura 19.	Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción de Fanning en función del número de Reynolds	44
Figura 20.	Capas de protección en una planta de proceso	55
Figura 21.	Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. (C) denota Transporte	58
Figura 22.	Esquema de las operaciones necesarias para el cálculo del flujo neto de caja libre del proyecto	68
Figura 23.	Representación del VAN frente a un periodo de tiempo de 10 años	69
Figura 24.	Ánalisis de rentabilidad mediante la representación del VAN frente a la tasa de rentabilidad, r	70
Figura 25.	Diagrama de bloques realizado de acuerdo a la normativa europea ISO 10628-2	72
Figura 26.	Diagrama de flujo realizado de acuerdo a la normativa europea ISO 10628-2	73
Figura 27.	Coste de adquisición de tanques de almacenamiento horizontales en el año 2002 y sin el coste de instalación	115
Figura 28.	Coste de adquisición de columnas de adsorción incluida la instalación en el año 2002	120
Figura 29.	Coste de adquisición de las bombas centrífugas, de diafragma y rotatorias en el año 2002	122

1. OBJETO

Debido a la diversidad de procesos y productos generados en la industria láctea se producen una gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se ven incrementados al aumentar su producción. En nuestro país, el queso es el principal producto de la industria alimentaria ya que la mayor parte de la leche es utilizado para dicho producto, donde se obtiene como subproducto el lactosuero en grandes volúmenes. Este residuo es un subproducto líquido obtenido después de la precipitación de la caseína durante la elaboración del queso. Contiene proteínas como sustancias de importante valor nutritivo, minerales, vitaminas, grasa y lactosa, siendo este último el principal componente nutritivo. Antiguamente la utilización industrial del lactosuero planteaba numerosos problemas medio ambientales e influía en la contaminación del suelo al ser vertido gran parte de él en ríos y desagües. Por este motivo, ha surgido la necesidad de explorar nuevas alternativas para la utilización de este recurso y la reducción de la contaminación ambiental. Es decir, este proyecto surge con la necesidad de tratar el lactosuero que se genera en la industria láctea, debido a las grandes cantidades producidas y a su elevado poder contaminante.

Se estudiarán las posibles formas de aprovechamiento de la lactosa presente en el lactosuero para la obtención de un producto de alto valor añadido, como el ácido lactobiónico.

El objeto de este proyecto es el diseño de un proceso de separación cromatográfica por lecho móvil simulado (SMB) de una mezcla que contiene ácido lactobiónico y sorbitol obtenida de la catálisis enzimática con las enzimas glucosa-fructosa-oxidoreductasa (GFOR) y glucono- δ -lactonasa (GL) contenidas en las células de la bacteria Zymomonas mobilis.

Se comenzará el proyecto explicando brevemente los conceptos básicos que se van a tratar a lo largo del proyecto y se darán unos pequeños matices del proceso de producción del ácido lactobiónico.

A continuación, se centrará el trabajo en la separación del ácido lactobiónico por cromatografía de lecho móvil simulado y se realizará el diseño del equipo necesario para el proceso, dimensionando tanto los equipos principales como los auxiliares.

Finalmente se terminará el proyecto realizando una evaluación medio ambiental y económica para determinar la viabilidad de dicho proyecto.

2. CONSIDERACIONES BÁSICAS

2.1. INDUSTRIA LÁCTEA

La industria láctea es aquella que utiliza leche como materia prima para la obtención de diferentes alimentos y bebidas lácteas derivados de ésta.

Esta industria es uno de los sectores más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. De todos los subsectores ganaderos, el lácteo es el segundo más importante, por detrás del porcino. En España, toda la cadena de producción y transformación láctea genera al año más de 11820 millones de euros y da empleo a cerca de 80000 personas, además de favorecer una importante actividad económica en varios sectores, entre ellos el logístico (INLAC 2008-2015). Cabe destacar la gran importancia del sector lácteo en Asturias, donde la rama de productos lácteos es la que genera mayores beneficios en nuestra región.

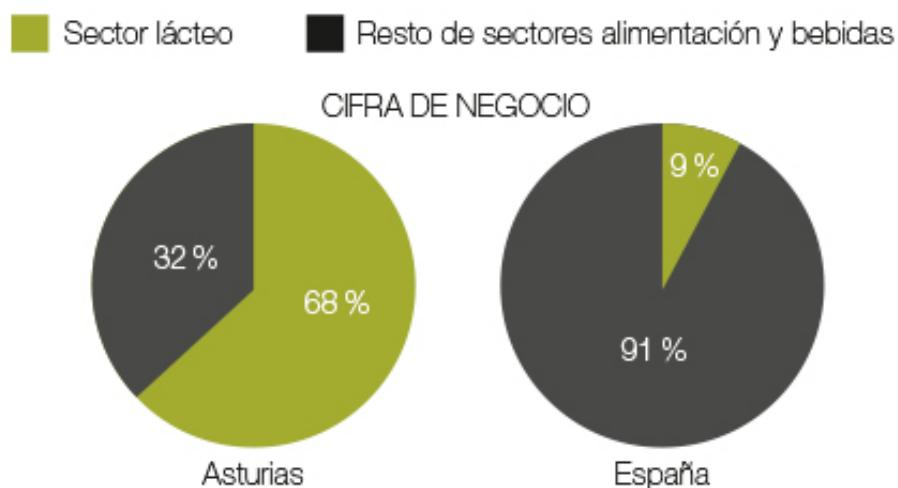


Fig. 1. Gráfico comparativo del sector lácteo en Asturias y en España. (Directorio Central de Empresas (DIRCE), INE-2014) Fuente: IDEPA, 2017.

La aplicación más utilizada en la industria láctea es la producción de leche fresca para el consumo directo, aunque también toma gran relevancia la producción de quesos ya que Asturias posee en su territorio una de las mayores manchas queseras de Europa. También cabe destacar la producción de yogures y mantequillas.

En los últimos años la industria láctea ha crecido debido a las mejoras a nivel productivo y a las innovaciones a nivel técnico, consiguiendo una salida constante de productos nuevos al mercado que satisfacen a todo tipo de cliente. Sin embargo, este aumento de la producción láctea conlleva a un incremento en el número de residuos orgánicos que se generan. Esto hace que productos que hace unos años eran tratados

como simples residuos del proceso de producción de otros productos finales tomen cierta importancia, como es el caso del lactosuero.

Según los datos del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA), el 88,9 % del total de leche producida por los ganaderos españoles es leche de vaca, el 5,7 % de oveja y el 5,4 % de cabra. Esto sitúa a España como el séptimo país productor de leche de vaca dentro de la Unión Europea, con un 4 % del total (INLAC, 2015). Por lo tanto, la leche de vaca es la principal materia prima en la industria láctea de la transformación.

2.1.1. Leche de vaca

La leche de vaca es uno de los alimentos de origen animal más consumidos y recomendados tradicionalmente. Su relevancia nutricional radica fundamentalmente en dos componentes: la fracción lipídica, formada principalmente por ácidos grasos saturados, monoinsaturados, y poliinsaturados, y la fracción proteica, donde se distinguen las caseínas, las proteínas del lactosuero y las proteínas de la membrana del glóbulo graso (García et al., 2014).

El sector lácteo de la leche de vaca tiene un gran peso económico en España. El 53 % de la leche de vaca en nuestro país se produce en la cornisa cantábrica (Galicia, Asturias y Cantabria), aunque el número de ganaderos españoles dedicados a la producción de leche de vaca se ha ido reduciendo en los últimos años.

2.1.2. Derivados lácteos

La leche es una de las materias primas con mayor diversificación en el mercado ya que se pueden elaborar muchos derivados lácteos como el yogur, el queso, la nata y la mantequilla.

Yogur es el derivado lácteo más consumido que se forma por la fermentación de leche a partir de las bacterias *Lactobacillus Bulgaricus* y *Streptococcus Thermophilus*.

El queso es el otro derivado lácteo principal producido por la coagulación de la leche y su posterior curación bajo diversas condiciones. Contiene de forma concentrada muchos de los nutrientes de la leche y aporta proteínas, grasas saturadas, vitaminas liposolubles y minerales, fundamentalmente calcio. Los quesos constituyen el segundo derivado lácteo más consumido en España, donde existen más de 150 variedades de quesos.

La nata y la mantequilla son subproductos de la leche que conservan buena parte de sus nutrientes y multiplican su contenido en grasa. En el caso de la nata, el contenido en grasa oscila entre el 12 y 55 %; en el de la mantequilla, entre el 80 y 90 %.

Además, la leche forma parte de infinidad de productos alimentarios y de preparaciones, pero también de numerosos productos basados casi exclusivamente en este alimento, como los helados, los batidos de leche, los flanes, las natillas o la cuajada.

Estos derivados se obtienen mediante la aplicación de diversas tecnologías, tales como: altas temperaturas, en el caso de los lácteos fluidos, para garantizar su inocuidad y estabilidad durante la vida útil; la coagulación de proteínas por acción de enzimas o de bacterias ácido láctico, para obtener alimentos como quesos con adición de especias, colorantes y saborizantes (IBEPI, 2013).

En la Fig. 2 se pueden observar las diferentes tecnologías que se pueden llevar a cabo para la producción de derivados de la leche.

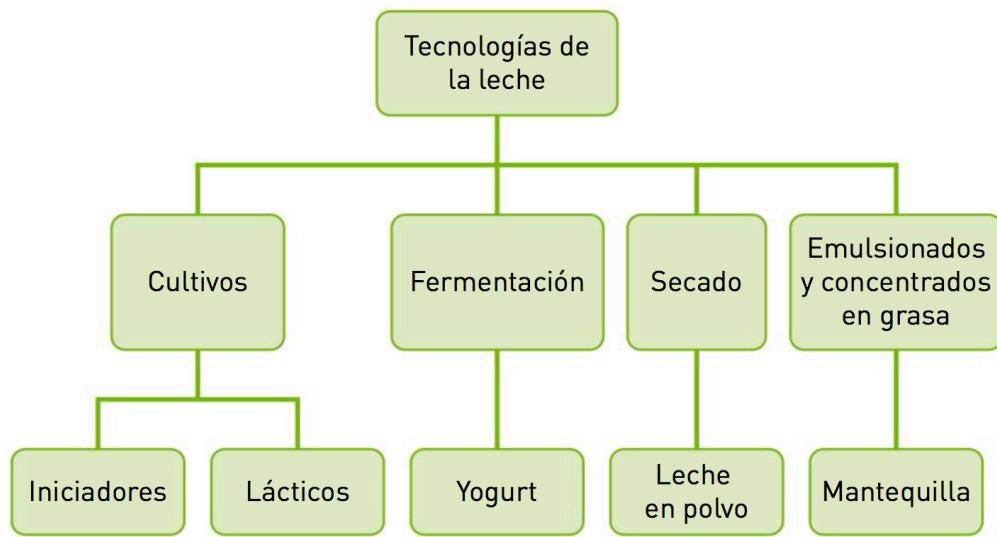


Fig. 2. Ciclo de vida de las tecnologías relacionadas con derivados lácteos (IBEPI, 2013).

La diferencia entre quesos frescos con o sin adición de cultivos iniciadores, libres de grasa y suaves y los quesos semimadurados y madurados, con incorporación de cultivos lácteos se debe a la combinación de tecnologías durante su obtención.

Por otro lado están los lácteos obtenidos por fermentación, principalmente de la lactosa.

También están los lácteos concentrados, evaporados y desecados, a los cuales se les elimina gran parte del agua y son transformados en polvo gracias a diversos procesos tecnológicos, como pueden ser las leches en polvo.

Finalmente, están los emulsionados y concentrados en grasa, como la mantequilla.

2.2. LACTOSUERO

El lactosuero es la fracción líquida resultante en la coagulación de la leche durante el proceso de fabricación del queso, una vez separada la mayor parte de la caseína y de la grasa. Contiene más del 50 % de los sólidos presentes en la leche, incluyendo la mayor parte de la lactosa, proteínas, minerales y vitaminas. En 10 litros de leche se generan 9 litros de lactosuero como subproducto (Guerrero *et al.*, 2011).

Este subproducto a pesar de ser altamente nutritivo, antiguamente era desechado a las aguas lo que provocaba graves problemas de contaminación ambiental. Dicho poder contaminante surge de la alta carga de oxígeno que los microorganismos consumen para degradarlo, de su poder impermeabilizante de los suelos, y de su facilidad para propiciar el crecimiento de algas y de su toxicidad. Su alta demanda química de oxígeno ($DQO > 60000 \text{ ppm}$) y bioquímica de oxígeno ($DBO > 35000 \text{ ppm}$) generan importantes implicaciones medioambientales que provocan que el lactosuero sea considerado como el residuo más contaminante dentro de la industria alimentaria.

Antiguamente la utilización industrial de lactosuero planteaba numerosos problemas medioambientales debido a que un volumen considerable de este subproducto era desechado como efluente. Actualmente, el vertido del lactosuero al agua debe ir precedido de una depuración, donde se eliminan los componentes más valiosos la lactosa y las proteínas.

Sin embargo, esta operación es muy costosa por lo que se estudió que el sector desaprovechaba la oportunidad de percibir recursos adicionales al no explotar el alto contenido de vitaminas y minerales, componentes sólidos de la leche, proteínas con alto valor biológico y un rico perfil de aminoácidos esenciales, que al ser parte del suero lo convierten en un subproducto con gran potencial comercial. A través de diversas técnicas y procesos se obtiene una serie de productos y compuestos cuyo valor nutricional los vuelve muy atractivos para la industria alimenticia (Guerrero *et al.*, 2011).

2.2.1. Composición

La composición química de este subproducto puede variar considerablemente dependiendo del tipo de leche utilizada para la elaboración del queso, el tipo de queso producido y el proceso empleado en su elaboración. A partir de estas diferencias se encuentran los tipos de lactosuero: dulce y ácido.

El lactosuero dulce es el procedente de la elaboración del queso mediante el uso de cuajo, que actúa sobre las caseínas de la leche y las fragmenta haciendo que estas se desestabilicen y precipiten. Este proceso tiene lugar a una temperatura específica entre 15-50 °C, con un pH próximo al de la leche inicial (6.5 aproximadamente). Este tipo de suero es

el más utilizado en la industria debido a que contiene aproximadamente el 95 % de lactosa, 25 % de proteínas y 8 % de materia grasa que contiene la leche.

El lactosuero ácido proviene de la precipitación ácida de la caseína, la cuál se logra disminuyendo el pH de la leche a un valor próximo a 4.5. Para ese valor de pH se alcanza el punto isoeléctrico de la mayoría de las caseínas presentes, de forma que la carga eléctrica neta de la proteína es igual a cero, lo que conlleva a que la micela de la caseína se desestabilice y precipite.

En la Tabla I se observa la composición detallada de los dos tipos de sueros de leche. En ella se puede apreciar como el lactosuero dulce presenta mayor concentración de lactosa y proteína que el ácido.

Tabla I. Composición en g/L de los diferentes tipos de lactosuero: dulce y ácido (Panesar *et al.*, 2007).

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63.0 – 70.0	63.0 – 70.0
Lactosa	46.0 – 52.0	44.0 – 46.0
Proteína	6.0 – 10.0	6.0 – 8.0
Calcio	0.4 – 0.6	1.2 – 1.6
Fosfatos	1.0 – 3.0	2.0 – 4.5
Lactato	2.0	6.4
Cloruros	1.1	1.1

2.2.2. Propiedades

El lactosuero es una excelente materia prima para obtener diferentes productos a nivel tecnológico debido a sus propiedades nutricionales y funcionales. Es posible transferir estas propiedades que posee el suero de leche a nuevos productos alimenticios. Se le ha atribuido propiedades como: depurativo, desintoxicante, regenerador de la flora intestinal y potenciador del sistema inmune. Es el medio más suave y eficaz para mejorar el fluido libre de la bilis, la evacuación de las deposiciones y el vaciamiento de la vejiga. Por tanto, el lactosuero representa una mezcla de proteínas que no sólo representan un importante papel nutritivo como una rica fuente de aminoácidos, sino que además, ejercen en muchos casos determinados efectos biológicos y fisiológicos.

La producción de péptidos a partir de la hidrólisis enzimática de las proteínas del lactosuero amplía la posibilidad de aplicaciones, sobre todo en el área de los alimentos funcionales. Algunos ejemplos son: ácido lactobiónico, lactulosa, galacto-oligosacáridos (GOS), lactitol, lactosucrosa, lactoferrina, que ocasionan algunas propiedades atribuidas a estos productos obtenidos.

Para llevar a cabo los procesos de obtención de los diversos productos mencionados anteriormente se debe realizar un fraccionamiento previo que convierte el lactosuero en una materia prima útil. De esta manera se consiguen sueros de leche desprotonizados, desmineralizados y con altas concentraciones de lactosa.

El lactosuero es usado como fuente de lactosa ya que se encuentra presente en una importante cantidad en los dos tipos de lactosuero, como se pudo observar en la tabla I. La presencia de la lactosa y de otros nutrientes esenciales para el crecimiento de los microorganismos hacen del lactosuero una buena materia prima para la producción de diferentes productos bioactivos mediante medios biotecnológicos (Illanes, 2011).

2.2.3. Técnicas de aprovechamiento

El lactosuero fue clasificado inicialmente como un residuo, pero en la actualidad, se puede considerar un subproducto. Éste puede ser utilizado de dos maneras diferentes: como lactosuero sin modificar (vía clásica) o como materia prima en procesos industriales para la obtención de sus componentes por separado.

Mediante el tratamiento industrial del lactosuero se obtienen principalmente proteínas y lactosa. En numerosas ocasiones, el proceso de producción de lactosa a partir del permeado del lactosuero se incorpora al principio de las cadenas de producción de algunos productos bioactivos disminuyendo los costes de producción de los mismo al aprovecharse un residuo, como es el lactosuero, en lugar de adquirir lactosa sólida para su uso como materia prima (Illanes, 2016).

Los grandes problemas medioambientales ocasionados en la industria láctea están relacionados básicamente con los residuos líquidos y sólidos. La mayor parte de los residuos sólidos generados en el proceso son reciclados hacia otros sectores industriales, mientras que los líquidos generados en la planta de tratamiento son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono. Por lo tanto, el lactosuero presenta importantes alternativas de aprovechamiento para obtener productos de alto valor añadido que contiene un amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales para el sector agroalimentario.

De esta forma, se lograría un resultado efectivo para ayudar al medio ambiente y a las empresas al reutilizar este subproducto. Se trata de un importante beneficio debido a que cambiaría el enfoque que tiene el lactosuero como un problema inevitable de contaminación y se vería como una fuente de generación de riqueza.

Este proyecto se centrará en el desarrollo de un proceso para la formación y separación de un producto de elevado valor añadido, como es el ácido lactobiónico.

2.3. LACTOSA

2.3.1. Definición y características

La lactosa es un disacárido de origen natural formado por la unión β (1-4) de la β -D-galactopiranosa (galactosa) y la α o β -D-glucopiranosa (glucosa).

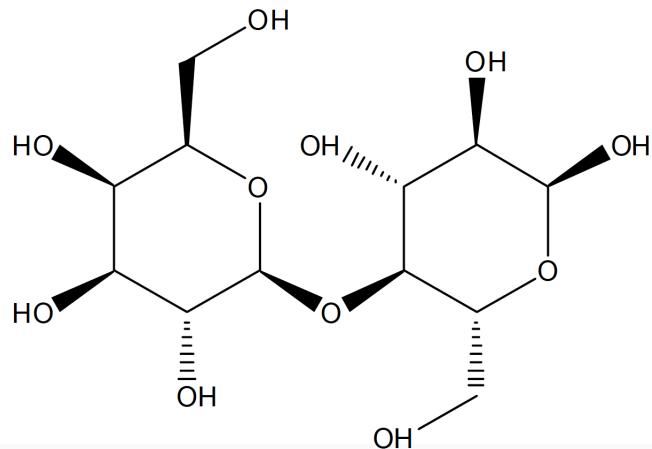


Fig. 3. Estructura de la lactosa.

La lactosa es el azúcar que está presente en la leche. Se halla en una proporción de 4-5 % en la leche de las hembras de los mamíferos (Ganzle *et al.*, 2008). En el caso de los seres humanos, la correcta absorción de la lactosa requiere la presencia de la lactasa, enzima producida en el intestino delgado y sintetizada durante la infancia.

Este azúcar de la leche existe bajo dos formas isómeras: α y β , que se diferencian estructuralmente sólo en la posición del $-OH$ (grupo hidroxilo) en el carbono monomérico de la glucosa. Sin embargo, difieren apreciablemente en sus propiedades físicas, consecuencia directa de que tenga distintas aplicaciones.

La lactosa en estado sólido puede presentarse de dos formas: en estado cristalino o en estado amorfo.

En estado cristalino las moléculas de lactosa tienen una disposición altamente ordenada. En este estado la lactosa puede existir en diferentes formas siendo las más conocidas la α -lactosa y β -lactosa. También existe una tercera forma cristalina denominada mixta, que contiene ambas formas de la lactosa en una especial red cristalina.

Por el contrario, la lactosa amorfa presenta una disposición aleatoria de las moléculas.

2.3.2. Aprovechamiento de la lactosa

La lactosa es el principal constituyente del lactosuero. Se puede obtener a partir del fraccionamiento del suero de leche. Se utiliza principalmente como aditivo alimenticio y de

medicamentos. Sin embargo, su empleo como materia prima para la producción de otros compuestos permite una amplia gama de aplicaciones de gran interés.

A partir de la lactosa se pueden obtener diferentes productos debido a las distintas transformaciones y procesos realizados para cada uno de ellos, como por ejemplo, el ácido lactobiónico, la lactulosa, los galacto-oligosacáridos, el lactitol, la tagatosa, el ácido cítrico, el ácido láctico, el biogás o el bioetanol.

La lactulosa, lactitol y galacto-oligosacáridos tienen aplicaciones en preparaciones alimenticias y farmacéuticas como prebióticos. Los prebióticos son sustancias no digeribles que estimulan el crecimiento y la actividad de bacterias propias del intestino, mejorando nuestra salud. Otros derivados de la lactosa, como por ejemplo, la tagatosa y el ácido lactobiónico tienen una aplicación potencial como ingredientes bioactivos presentes en los alimentos (Schaafsma, 2008). El bioetanol o biogás resultan de gran interés en el sector energético.

En este proyecto, se tratará la separación de la mezcla obtenida de la oxidación de lactosa catalizada por glucosa-fructosa-oxidoreductasa (GFOR) y glucono- δ -lactonasa (GL). Estas encimas procedentes de la bacteria Zymomonas mobilis son capaces de oxidar la lactosa en presencia de fructosa a su respectivo ácido orgánico (ácido lactobiónico) y sorbitol. Por ello, se va a dedicar el próximo apartado para profundizar más a cerca de estas sustancias y finalmente, se centrará el proyecto en el ácido lactobiónico, siendo éste el producto de alto valor añadido de interés.

2.4. FRUCTOSA

La fructosa es un azúcar simple, por lo cual entra dentro de la categoría de monosacáridos, que contiene cinco grupos hidroxilo y una función cetona (cetosa). Su fórmula molecular es la misma que la de la glucosa, $C_6H_{12}O_6$; sin embargo, se diferencia en el arreglo de los átomos en su estructura, es decir, es un isómero de ésta. Es uno de los tres monosacáridos que el cuerpo puede utilizar para obtener energía, junto con la glucosa y la galactosa. Se encuentra principalmente en las frutas, vegetales y en la miel (Lehninger *et al.*, 2005). Sin embargo, no se encuentra únicamente de forma aislada, ya que se pueden formar combinaciones de esos monosacáridos para dar otros compuestos.

La fructosa es metabolizada y guardada en forma de glucógeno como reserva para situaciones de esfuerzo. Sin embargo, como acaba transformándose en glucosas produciendo una elevación glucémica en la sangre, no se considera un edulcorante recomendable para las personas con diabetes. Progresivamente, la fructosa ha ido sustituyendo a la glucosa como principal edulcorante industrial.

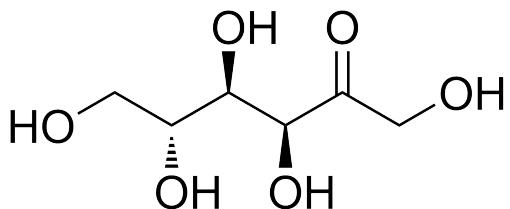


Fig. 4. Estructura de la fructosa.

2.5. SORBITOL

El sorbitol es un polialcohol que se conoce también con el nombre de glucitol. Se presenta como una cadena acíclica con seis átomos de carbono y seis grupos hidroxilo unidos a cada unidad de carbono.

Se encuentra en cantidades significativas en las algas rojas y frutas como peras, manzanas, cerezas y ciruelas especialmente.

El sorbitol se utiliza principalmente como edulcorante para la sustitución de la sacarosa o como agente humectante en medicamentos, cosméticos y alimentos. Se metaboliza lentamente en el cuerpo humano sin la necesidad de insulina, produciendo pocas calorías por lo que es un componente importante en los alimentos dietéticos (Silveira y Jonas, 2002).

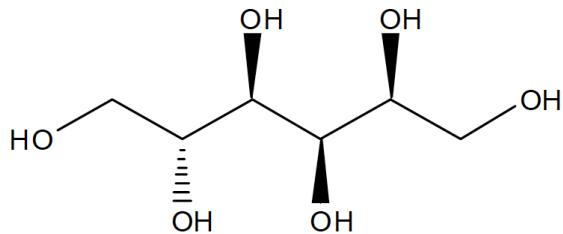


Fig. 5. Estructura del sorbitol.

El mercado mundial de sorbitol está en constante crecimiento, con una producción anual de más de un millón de toneladas (tesis portuguesa de sorbitol y LA). Este producto se vende en forma líquida (70 %) o cristales, especialmente en los Estados Unidos, Europa Occidental y Asia. La mayor cuota de mercado está representada por la industria alimentaria (39 %), seguido por las empresas farmacéuticas mediante los sectores de higiene y cosmética (27 %) y la producción de vitamina C (13 %).

2.6. ÁCIDO LACTOBIÓNICO

El ácido lactobiónico (LBA) es un polihidroxiácido producto de la oxidación enzimática de la lactosa. Consiste en la unión de un carbohidrato (galactosa) y un ácido aldónico (ácido glucónico).

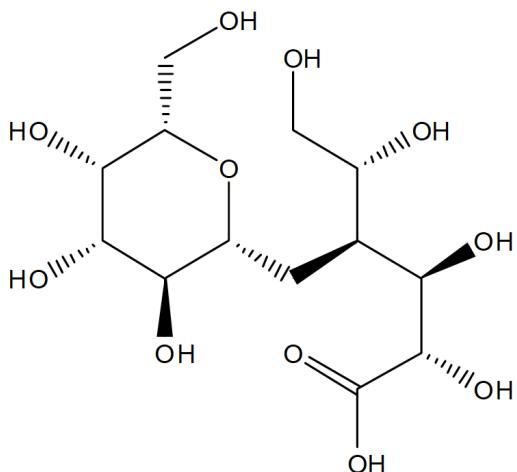


Fig. 6. Estructura del ácido lactobiónico.

Además, es considerado como la última generación de ácidos α -hidroxi, con una aplicación particular en la industria cosmética como sustancia activa en los tratamientos y cuidados de la piel debido a su alta capacidad hidratante. Este ácido tiene una fuerte acción quelante sobre los metales y también una fuerte acción antioxidante. Estas características permiten que LBA se use en medicina para estabilizar y conservar los órganos dedicados a trasplantes. Sus propiedades quelantes reducen la actividad de metaloquinasa, enzima responsable de la degradación de colágeno en la piel después de la exposición a la luz solar, y por tanto ayuda a reducir los efectos del envejecimiento.

El ácido lactobiónico también se utiliza en detergentes y tensoactivos, para mejorar la formación de un complejo mediador de intercambio iónico que facilita la eliminación de los iones de magnesio y calcio provenientes de los procesos de lavado y limpieza (especialmente en la industria textil).

A nivel mundial, el ácido lactobiónico es un producto de alto valor añadido y ha despertado el interés de la comunidad científica para la optimización de la producción y los procesos tecnológicos implicados.

2.6.1. Proceso de producción del ácido lactobiónico

En este apartado se presenta una visión general del proceso de producción del ácido lactobiónico (LBA).

La formación del ácido lactobiónico a partir de lactosa tiene lugar mediante una reacción de oxidación. En la Fig. 7 se muestra un esquema de ésta reacción, que consiste en la oxidación de un grupo aldehído libre de la glucosa en la molécula de lactosa a un grupo carboxilo.

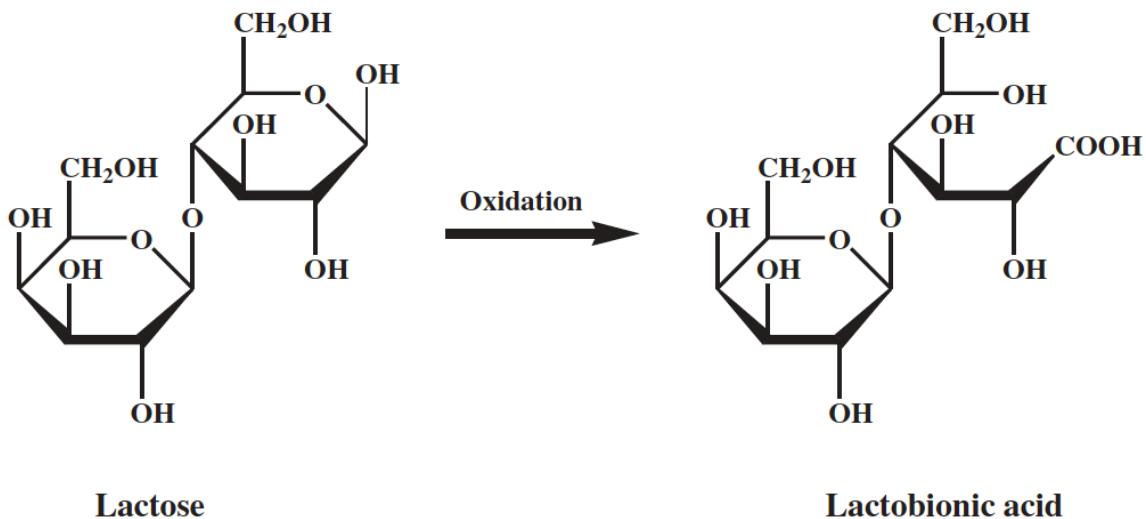


Fig. 7. Esquema de la reacción de oxidación de lactosa a ácido lactobiónico (Gutiérrez *et al.*, 2012).

La primera vez que el ácido lactobiónico se sintetizó fue en 1889 por Fischer y Meyer oxidando la lactosa con bromo. Desde entonces existen varias vías fundamentales para su obtención, siendo las más importantes las oxidaciones electroquímicas, biocatalíticas y catalíticas heterogéneas.

La reacción de oxidación de lactosa a ácido lactobiónico en este proyecto se realizará a través de la vía biocatalítica enzimática, por ser ésta la que produce LBA en mejores condiciones y con una mayor productividad (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Para una reacción la selección del enzima es fundamental para el correcto desarrollo del proyecto. De entre las múltiples opciones que proporcionan las investigaciones recogidas en las referencia bibliográficas, la mejor opción para catalizar la reacción de oxidación es utilizar el complejo enzimático GFOR/GL. Este complejo no necesita mediador redox y la agitación puede ser mecánica o mediante aireación. A pesar de que esta reacción tiene un menor rendimiento y una menor productividad, es más fácil de controlar a escala industrial. Es importante destacar para la utilización de este complejo, que la materia prima que se debe utilizar en la reacción no es solo lactosa, sino que se debe añadir también fructosa. De forma que, ahora los productos obtenidos serán ácido lactobiónico y sorbitol. Este cambio no supone ningún inconveniente a la economía y desarrollo del proceso ya que la lactosa y fructosa son fáciles de obtener y relativamente baratas.

El esquema de la reacción que se desarrolla en este proyecto se puede observar a continuación en la Fig. 8.

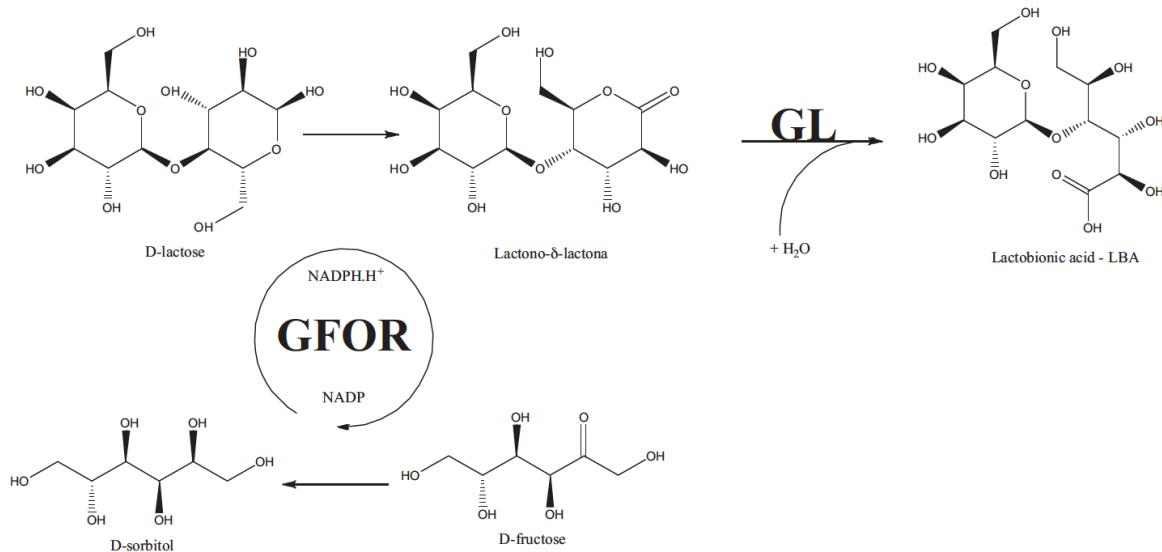


Fig. 8. Esquema de la reacción de oxidación de lactosa a ácido lactobiónico mediante el uso del complejo enzimático GFOR/GL (Pedruzzi *et al.*, 2011).

El complejo enzimático utilizado en este proyecto proviene de la bacteria anaerobia Gram negativa *Zymomonas mobilis*. La enzima glucosa-fructosa-oxidorreductasa (GFOR) cataliza la reacción de oxidación y reducción para producir lactono- δ -lactona y sorbitol respectivamente en proporción equimolar. Por otro lado, la enzima GL cataliza la reacción de hidrólisis para transformar lactono- δ -lactona en ácido lactobiónico (Pedruzzi *et al.*, 2011).

Por tanto, una mezcla de los azúcares lactosa y fructosa es catalizada por las enzimas glucosa-fructosa-oxidorreductasa (GFOR) y glucono- δ -lactonasa (GL) presentes en las células de la bacteria *Zymomonas mobilis*, para la formación de los productos mencionados anteriormente.

Ésta reacción enzimática es irreversible, y consigue producir ácido lactobiónico con un rendimiento del 85% cuando se utilizan soluciones de azúcar 0.7 M. En ella, la velocidad de reacción máxima se encuentra en la fase inicial de la reacción enzimática, resultando una mezcla cuaternaria que contiene ácido lactobiónico, sorbitol, lactosa y fructosa.

Con el fin de conseguir una mayor productividad, la reacción enzimática puede ser interrumpida después de pocas horas de funcionamiento y los sustratos sin reaccionar (fructosa y lactosa) pueden ser reciclados al reactor enzimático después de la separación de los productos (ácido lactobiónico y sorbitol).

3. MEMORIA

3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

En este proyecto se lleva a cabo el diseño de las etapas de separación del ácido lactobiónico y sorbitol, los productos obtenidos de la oxidación de la lactosa, procedente del lactosuero, y fructosa por vía biocatalítica enzimática en presencia de las enzimas GFOR/GL.

Esta etapa forma parte de un proceso más amplio, como se puede ver en la Fig. 9, que incluye previamente la etapa de reacción y separación de enzimas, y posteriormente, la concentración de los productos separados para obtener ácido lactobiónico concentrado.

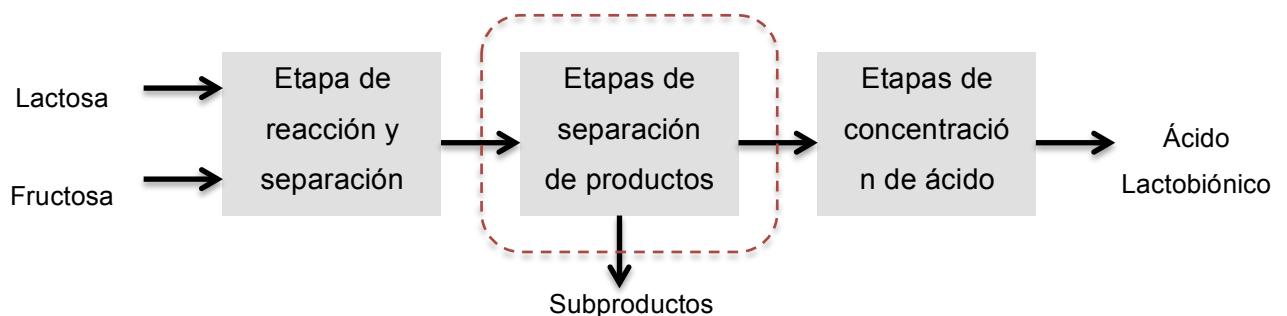


Fig. 9. Diagrama de bloques del proceso general de obtención de ácido lactobiónico.

En la Fig. 10 se muestra una miniatura del diagrama de bloques de las etapas de separación de productos, con objeto de facilitar la comprensión del proyecto que se diseña a continuación.

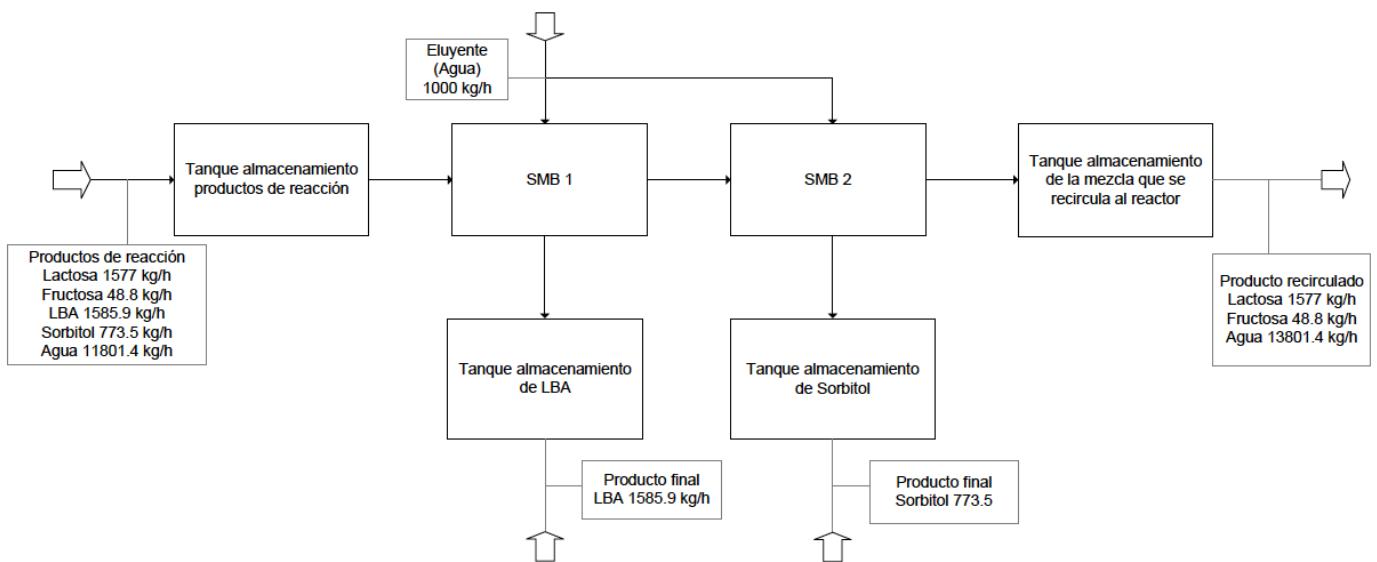


Fig. 10. Diagrama de bloques de las etapas de separación de productos.

3.2. DIAGRAMA DE FLUJO

Generalmente, el desarrollo de las etapas de separación de productos y su diseño se realiza a partir de un esquema básico de las etapas necesarias para cumplir el objetivo. Para ello, el diagrama de bloques es una buena base, sin embargo, para la correcta comprensión del funcionamiento del proceso es necesaria la elaboración de un diagrama de flujo. Una miniatura del diagrama de flujo del proceso puede verse en la Fig. 11.

Se puede comprobar como el punto de partida del proceso es un tanque de almacenamiento donde se encuentra recogida la disolución obtenida de la etapa de reacción (fructosa, lactosa, ácido lactobiónico, sorbitol y agua). Como primera operación destaca una separación por lecho móvil simulado donde se separará el ácido lactobiónico obtenido en la etapa de reacción. Posteriormente, el resto de la disolución que no se separa se introduce en otro lecho móvil simulado donde se separa el sorbitol y se recircula la lactosa y la fructosa de nuevo al reactor enzimático.

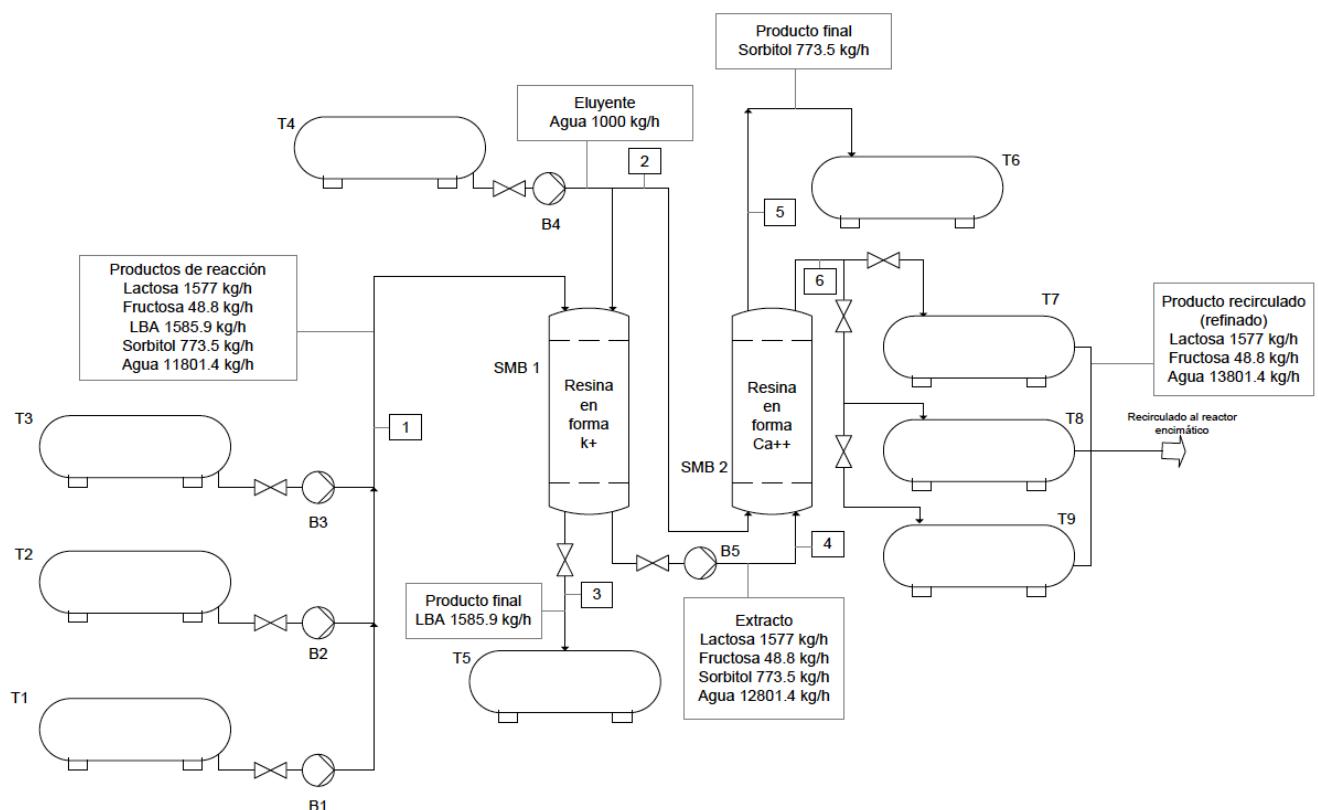


Fig. 11. Diagrama de flujo de las etapas de separación de productos.

Tanto el diagrama de bloques como el diagrama de flujo del proceso podrán visualizarse de forma más ampliada en el apartado 6.

3.3. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LACTOBIÓNICO

Se realizará un estudio para determinar la cantidad de ácido lactobiónico que se obtiene tras la separación de productos.

En el año 2007, la producción mundial de ácido lactobiónico se situaba entre 15000 y 17000 toneladas, con un crecimiento anual del 5 % ya que cada vez eran más los usos y aplicaciones que se encontraban para este ácido gracias a tener unas propiedades físico-químicas únicas. De forma que, actualmente, la producción mundial de LBA se estima en 29000 toneladas aproximadamente (Gutiérrez *et al.*, 2012).

En el año 2014, la producción mundial de queso fue aproximadamente 21 millones de toneladas. En el año 2016, la producción de queso en España se estimó en 461000 toneladas, lo que corresponde a un 2.2 % de la producción mundial del año 2014 (Eurostat, 2017).

Entonces, suponiendo que la producción de ácido lactobiónico en España es igual a la producción de queso y ,por tanto corresponde a un 2.2 % de la producción mundial total, la producción de LBA en España en el año 2017 será de 638 toneladas.

En todos los proyectos involucrados en la producción de ácido lactobiónico (reacción y separación de enzimas, separación de productos y concentración de LBA) se desarrollará un proceso para la producción de un tercio del ácido lactobiónico producido en España en el año 2017, es decir, 213 toneladas de LBA.

Para conocer la cantidad de ácido lactobiónico que se produce en la etapa de reacción hay que tener en cuenta el rendimiento de las operaciones posteriores a esa etapa (separación de productos y concentración de ácido lactobiónico) que será del 90 % entre las dos. Por lo tanto, la producción anual de LBA en la etapa de reacción será de 237 toneladas de LBA.

Para las etapas de separación de productos, se supondrá que las separaciones se llevan a cabo completamente, de forma que se obtiene una producción anual de 237 toneladas de LBA tras la separación.

Como se trabaja con una producción pequeña en comparación con la producción de cualquier otro compuesto de mayor demanda, el periodo de producción va a ser corto. Se ha seleccionado un periodo de producción de 6 meses, es decir, 180 días. No obstante, en esos 180 días habrá 20 días en los que el proceso productivo estará parado debido a motivos externos como pueden ser averías, limpiezas generales, auditorías, visitas importantes... Entonces, el proceso de producción durará 160 días, en los cuales se trabajarán las 24 horas del día en turnos de 8 horas.

3.4. SEPARACIÓN DE ÁCIDO LACTOBIÓNICO

Los procesos de separación comprenden una de las áreas de estudio más importantes de la Ingeniería Química. Hay muchos factores que intervienen en la selección del método de separación, entre ellos la viabilidad económica, el impacto ambiental, las especificaciones de purezas superiores a los patrones comunes del mercado y las limitaciones políticas, naturales y de la disponibilidad de materias primas (Rousseau, 1987).

La inmensa mayoría de los procesos utilizados en la industria son discontinuos, donde se emplean cantidades importantes de sustancias peligrosas, de forma que son poco eficientes desde el punto de vista medioambiental.

Sin embargo, los procesos continuos favorecen el reciclaje de reactivos y disolventes. Además, se reduce el riesgo de contaminación cruzada. Pero estos procesos continuos presentan dificultades tales como la necesidad de trabajar con conversión finita y la necesidad de disponer de métodos de separación también continuos.

3.4.1. Métodos de separación

En la industria petroquímica, la técnica de separación más empleada es la destilación. Sin embargo, cuando esta técnica no es aplicable por razones económicas o técnicas, existen otras posibilidades entre las cuales destacan la cristalización, la extracción líquido-líquido, la electrodiálisis, las técnicas de adsorción y de cromatografía y las técnicas de membranas.

Las operaciones de separación típicas de la Química Fina, como la cristalización y la precipitación, son difíciles de llevar acabo de forma continua. Por esta razón, es interesante la adaptación de métodos tradicionalmente discontinuos para su utilización en procesos continuos.

A continuación, se explicarán brevemente algunas de las técnicas mencionadas previamente profundizando en la separación por cromatografía en lecho móvil simulado (SMB) que es la técnica finalmente escogida.

3.4.1.1. Separación por destilación

La destilación es un método utilizado para la purificación de líquidos y la separación de mezclas con el fin de obtener sus componentes individuales. Se trata de una técnica que permite separar mezclas de sustancias que presentan diferentes puntos de ebullición. Cuanto mayor sea la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes, es decir, los componentes se obtendrán con un mayor grado de pureza.

Consiste en calentar la mezcla hasta que ésta entra en ebullición. Se basa en la diferente transferencia que sufren los componentes según su presión de vapor, resultando que al aumentar la temperatura a cierto valor, unos componentes pasan a fase vapor y otros no (Díaz, 2012).

No siempre se puede emplear este método de separación, pero cuando es posible utilizarlo, se consiguen eficacias muy altas de forma que los productos que se obtienen son relativamente puros. Sin embargo, esta técnica solo es correcta para mezclas de sustancias que no tengan los puntos de ebullición demasiado próximos. Además, ciertas mezclas no se pueden calentar porque sufrirían un proceso de descomposición. Por este motivo, no se puede llevar acabo este método de separación en la industria alimentaria.

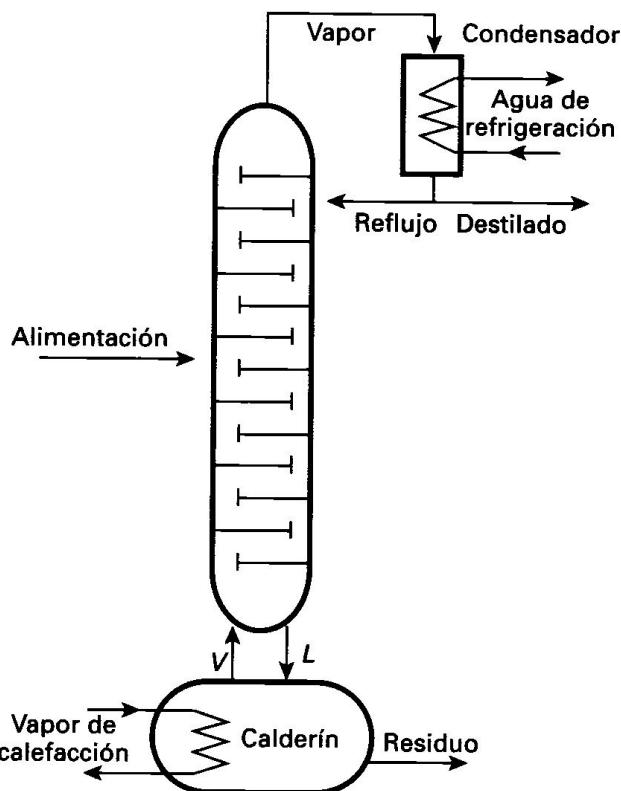


Fig. 12. Esquema de una columna de destilación continua (Calleja, 1999).

3.4.1.2. Separación por extracción líquido-líquido

Junto con la destilación, la extracción líquido-líquido es la operación más empleada para separar un producto de una mezcla de reacción. Se trata de separar varias sustancias disueltas en un disolvente mediante su transferencia a otro disolvente insoluble, o parcialmente insoluble, en el primero.

La disolución que originalmente contenía el componente a extraer se conoce como alimentación, el líquido usado para extraer recibe el nombre de disolvente y finalmente, la disolución más rica en disolvente (que contiene los componentes extraídos) se denomina extracto, siendo la más pobre en disolvente el refinado (Treybal, 1980).

La principal desventaja de esta técnica es que para obtener el grado deseado de separación se necesitan más de una etapa, y mientras más etapas más costosa es la separación. En competencia con otras operaciones, los costes son muy elevados. Además, la extracción líquida-líquida produce nuevas soluciones, que a su vez deben separarse, frecuentemente por destilación o evaporación. Por tanto, esta técnica tampoco es la más favorable.

3.4.1.3. Separación por membranas

Los procesos que utilizan membranas tienen gran importancia en el campo de la separación y purificación de productos biotecnológicos.

Una membrana consiste en una fase semipermeable que restringe el paso de determinadas especies, es decir, una barrera entre la corriente alimentada y la corriente producto de esta interposición. La fuerza conductora para el transporte de materiales se realiza a través de una diferencia de presión. Cuanto menores son los poros más presión se necesita para forzar el paso a través de la membrana. Se denomina permeado a los componentes de menor tamaño molecular que son los que traspasan la membrana por el uso de la presión. Al contrario, los que no consiguen traspasar la membrana se denominan concentrado.

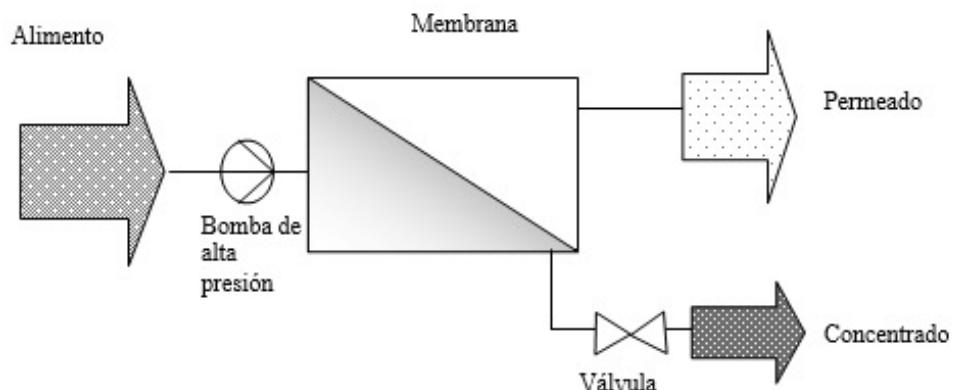


Fig. 13. Representación esquemática de un proceso de separación por membranas.

Esta técnica presenta grandes ventajas, como por ejemplo, no requiere aditivos químicos, tiene un escaso gasto energético, opera a baja presión y temperatura, selectividad, sus condiciones de procesado son sencillas y minimiza la desnaturización, inactivación o degradación de productos biológicos... En la mayoría de los casos la

separación tiene lugar a más bajo coste y proporciona productos más valiosos que los métodos de separación más viejos.

Pero también presenta algunas desventajas importantes como una vida útil corta y problemas de saturación de las membranas. A pesar de ser una técnica donde se obtienen altos grados de pureza debido a la gran variedad de membranas que se pueden emplear, no es una técnica adecuada para elevadas producciones (Guerrero *et al.*, 2014).

En este caso en concreto, para un sistema de membrana de ultrafiltración continua se observó que la adición de NaOH para controlar el pH en los ensayos de bioconversión reducía a un 80 % la velocidad de reacción, lo que indica que la pérdida de estabilidad de la enzima está relacionada con la acumulación de gluconato en el medio de reacción (Ferraz *et al.*, 2001).

3.4.1.4. Electrodiálisis

Se trata de una metodología antigua, ya que la existencia de intercambiadores iónicos de algunas arcillas y minerales se conoce desde hace años.

Se define intercambio iónico como una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido (Nervárez 2009; Perez *et al.*, 2006). En este proceso se genera una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido. Por tanto, se trata de un proceso que emplea la diferencia de un potencia eléctrica como fuerza impulsora, y que consiste en pasar un fluido sobre un intercambiador aniónico y/o catiónico, reemplazando los cationes y/o aniones por el ión hidrógeno (H^+) y/o el ión hidroxilo (OH^-) respectivamente (Manahan, 2007).

La electrodiálisis acoplada a un proceso de bioconversión también ha demostrado ser eficiente para la estabilidad de la enzima eliminando la acción de control del pH en el sistema (Ferraz *et al.*, 2001). Sin embargo, este proceso logra una velocidad de reacción 10 veces mayor a la registrada en otros sistemas que no emplean electrodiálisis para la separación del ácido lactobiónico que se produce durante el proceso de bioconversión (Severo Jr., 2008).

3.4.1.5. Separación por cromatografía en lecho móvil simulado (SMB): la alternativa seleccionada

En los últimos años, se ha desarrollado la utilización del “lecho móvil simulado” (*Simulated Moving Bed, SMB*) para la separación de productos de alto valor añadido. Este sistema fue introducido en la industria petroquímica en los años 60 por Broughton y Gerhold (Huthmann y Juza, 2005; Andersson y Mattiasson, 2006).

Se trata de la utilización sincronizada de una batería de columnas cromatográficas o de adsorción, de forma que simula una operación en contracorriente de una fase líquida y una fase sólida (*True Moving Bed, TMB*). Como consecuencia, se consigue la separación en continuo de los diversos componentes de una mezcla a escala industrial.

Este proceso de separación por adsorción (cromatografía de adsorción) consiste en el aumento de la concentración selectiva de una o más sustancias presentes en una mezcla (adsorbato), ya sea como un líquido o un gas, sobre la superficie de un sólido microporoso (adsorbente). Las fuerzas atractivas que promueven el efecto de adsorción son generalmente más débiles que los enlaces químicos y permiten una fácil regeneración del adsorbente mediante el aumento de la temperatura o la reducción de la concentración del adsorbato. Esta etapa de regeneración o desorción es muy importante porque define las condiciones para la recuperación de sustancias sobre la resina así como la reutilización del adsorbente para ciclos posteriores (Keller II *et al.*, 1987).

Las principales ventajas de este método de separación son su mayor eficacia y menor coste, debido a una mayor productividad, mayor concentración y pureza del producto separado, mejor aprovechamiento de la mezcla original y menor consumo de disolvente.

3.5. SEPARACIÓN SIMULTÁNEA EN SISTEMA DE LECHO MÓVIL SIMULADO (SMB)

3.5.1. Antecedentes a la tecnología SMB: Cromatografía por etapas

La cromatografía se ha empleado como técnica de separación a escala analítica, pero cada vez es mayor el interés de desarrollar métodos cromatográficos adecuados para la separación de compuestos a escala preparativa (Subramanian, 2001).

En química fina o en la industria farmacéutica es necesario obtener altas purezas. Esto se puede conseguir trabajando en discontinuo en cromatografía por etapas (*Batch Process Chromatography, BPC*), sin embargo, los rendimientos y la eficacia del proceso son bajos en comparación con los obtenidos trabajando en cromatografía en continuo. La BPC consiste en cuatro etapas como se puede observar en Fig. 14: en la primera etapa se realiza la inyección de la mezcla que se desea separar; en la segunda se eluye el producto; en la tercera tiene lugar la recogida de los compuestos separados y en la cuarta se regenera la fase estacionaria mediante la circulación del eluyente empleado en el proceso. Estas etapas se repiten sucesivamente hasta alcanzar los rendimientos necesarios dependiendo del proceso que se vaya a realizar.

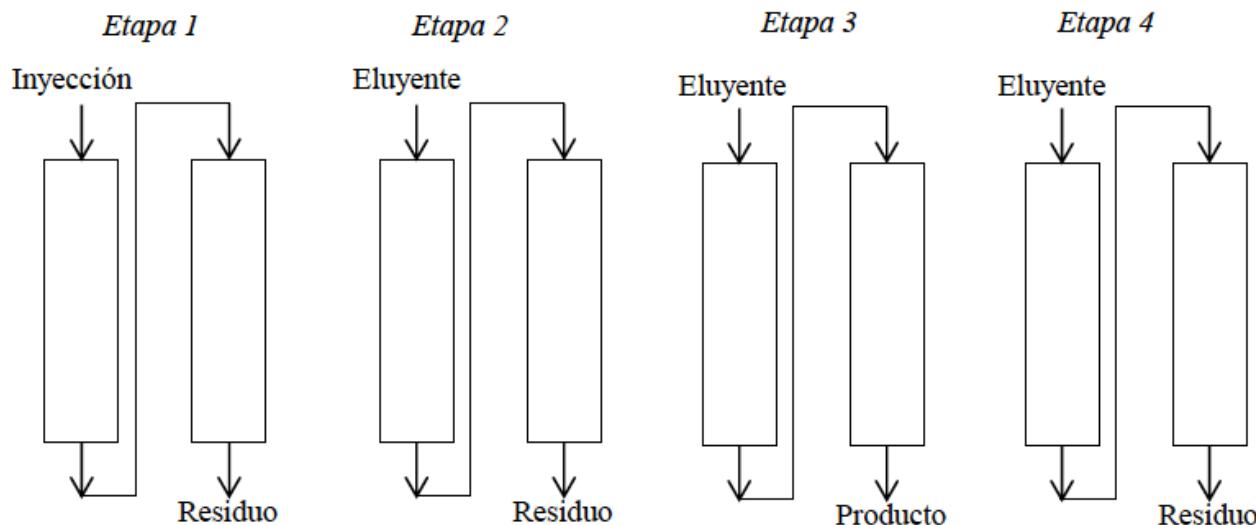


Fig. 14. Modo de operación en cromatografía discontinua por etapas (Chin y Wang, 2004).

Pero esta técnica presenta una gran desventaja, ya que al trabajar en discontinuo, la cantidad de eluyente empleada es muy elevada y la fase estacionaria tiene una vida útil bastante corta (Chin y Wang, 2004).

Por este motivo, se desarrollaron nuevas técnicas de cromatografía en continuo, como la cromatografía en lecho móvil simulado (SMB), proceso que se realiza en contracorriente por lo que mejora la eficacia y los rendimientos obtenidos en la separación.

3.5.2. Conceptos teóricos: TMB y SMB

La unidad de separación de lecho móvil verdadero (*True Moving Bed*, TMB) promueve la separación de sustancias contenidas en una mezcla según la afinidad de estas sustancias con la fase sólida. Por lo que las sustancias que presentan menor afinidad permanecen en la fase líquida mientras que aquellas sustancias con mayor afinidad son fuertemente adsorbidas por la fase sólida. De esta forma, se obtiene la separación binaria de la mezcla original.

En un sistema TMB, Fig. 15, el lecho está dividido en cuatro zonas, cada una de las cuales desempeña un papel específico en la separación de la mezcla de los componentes. El compuesto más retenido (A) se denomina extracto, y el compuesto menos retenido (B), refinado. Si se realiza una inyección, por la parte central del sistema, de una mezcla (A+B), la separación se llevará a cabo en las zonas centrales (zonas 2 y 3). El componente A, al ser más retenido, seguirá el sentido del desplazamiento de la fase estacionaria, mientras que el componente B, al estar menos retenido, seguirá el sentido de la fase móvil. Para un

sistema cerrado, la fase móvil se introduce por la zona 1, se hace circular hasta la zona 4 y desde ese punto se dirige de nuevo a la zona 1, ya regenerada. De la misma forma, la zona 4 de la fase estacionaria queda regenerada tras la salida del componente menos retenido y la fase móvil se recircula a la zona 1.

Se aprovecha el hecho de que las sustancias a separar se desplazan a diferente velocidad a lo largo de la fase sólida porque así, la sustancia más retenida A, se desplaza a una velocidad menor que la sustancia menos retenida B. De esta forma, si el lecho sólido se desplaza a contracorriente a una velocidad intermedia entre esas dos, entonces el movimiento neto de ambas sustancias será en direcciones opuestas, de modo que la sustancia más retenida A es arrastrada por el sólido, mientras que la sustancia B discurrirá con la fase fluida.

En este método el movimiento de la fase sólida es real, pero este hecho muchas veces es problemático, por lo que se convierte en un método poco utilizado en la industria (McCabe *et al.*, 2007).

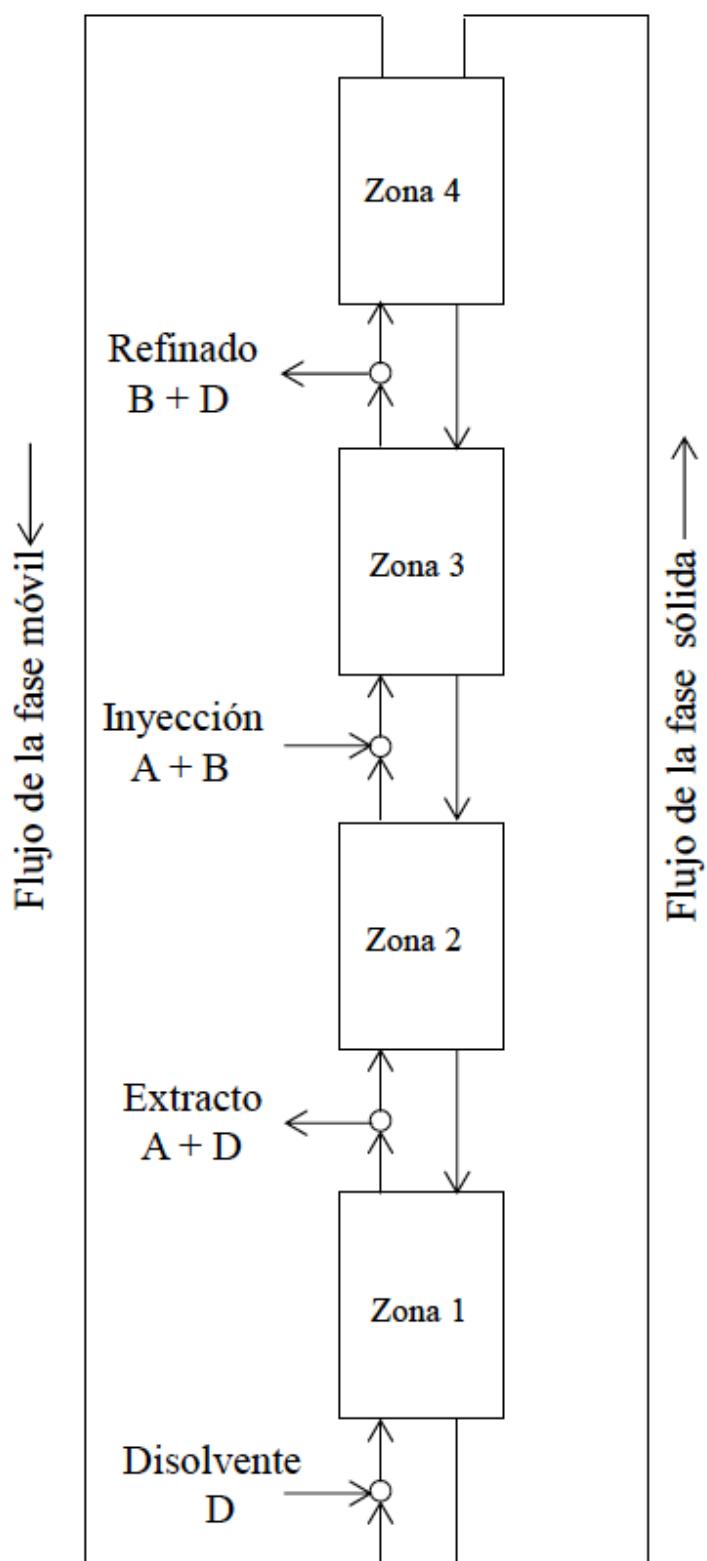


Fig. 15. Esquema de un sistema de cromatografía en contracorriente en lecho móvil verdadero (TMB) para la separación de dos componentes A y B.

Por el contrario, el sistema de cromatografía en lecho móvil simulado (*Simulated Moving Bed, SMB*) evita este problema simulando el movimiento de la fase sólida, que en realidad no se mueve, mediante el movimiento de los puntos de inyección y de extracción de un conjunto de columnas.

El proceso SMB consiste en una serie de columnas conectadas en serie y operadas de forma simultánea. El conjunto de las columnas forma cuatro zonas de trabajo, tal y como se indica en la Fig. 16.

La sustancia B que será menos afín por la fase estacionaria avanzará más rápidamente, mientras que la sustancia A quedará retrasada a lo largo de la zona III. Si tiene lugar el desplazamiento de la alimentación hacia el nodo siguiente cuando la sustancia B ya haya salido de la zona III pero la sustancia A aún no haya alcanzado el extremo de esa zona, entonces se consigue la separación de B, cuya salida tendrá lugar por el refinado R. Además, si simultáneamente se consigue que la sustancia B no alcance la zona I, se obtendrá la sustancia A en la salida del extracto E y se conseguirá la separación de la mezcla.

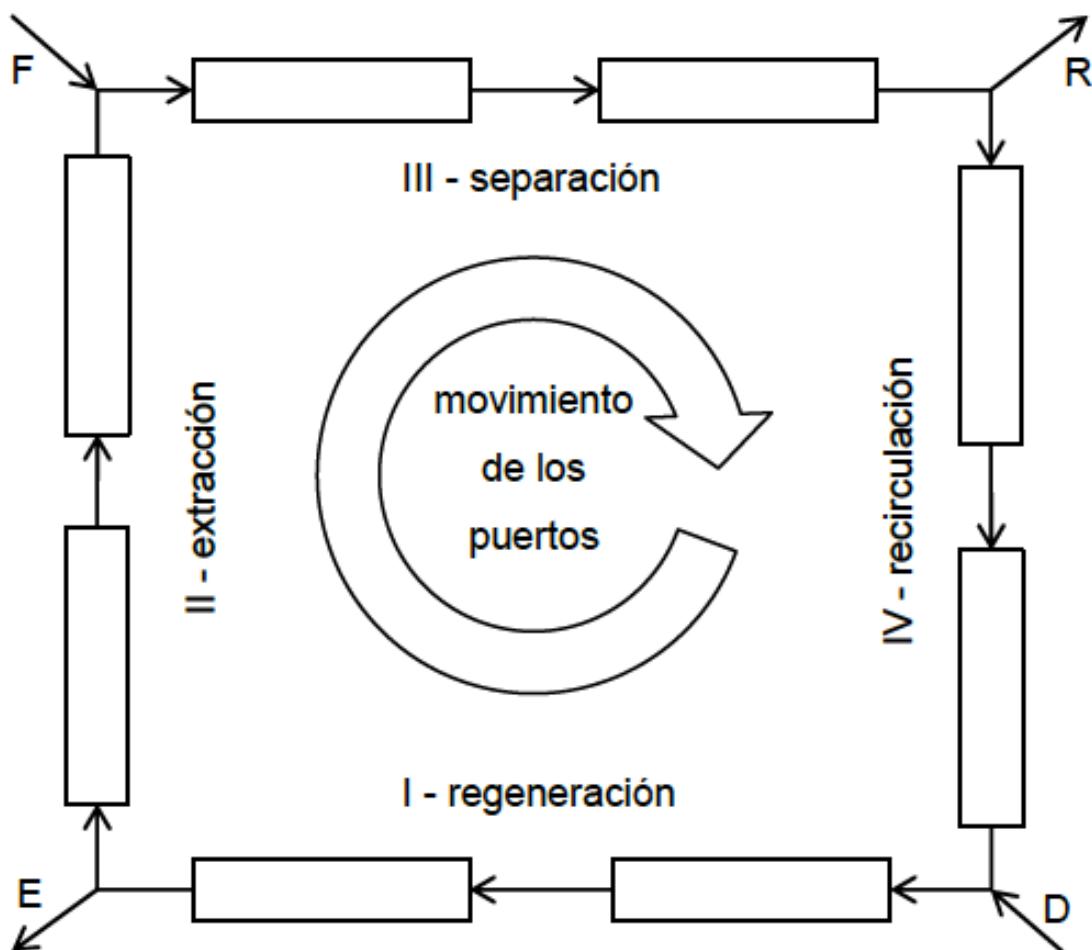


Fig. 16. Esquema de un proceso SMB con 8 columnas. F (alimentación); R (refinado); D (desorbente); E (extracción). (Menacho, 2011).

La fase móvil se desplaza a través de las columnas siguiendo la dirección de las agujas del reloj. Las corrientes de alimentación, refinado, desorbente (eluyente) y extracto se desplazan de forma rotativa también en la dirección de las agujas del reloj, cada cierto tiempo de modo que se simula un desplazamiento de la fase estacionaria en la dirección contraria a una velocidad promedio. Así, se consigue tener unas velocidades relativas opuestas entre la fase sólida y fase líquida, que es lo que permite la separación.

A pesar de las muchas ventajas del proceso de separación en SMB, la configuración clásica se limita a dos flujos de salida (extracto y refinado), que sólo permite las separaciones binarias.

Esta técnica ha sido utilizada con éxito en la petroquímica desde 1970 para la separación de mezclas de isómeros (Minceva y Rodrígues, 2002), así como en el procesado de azúcares (Borges *et al.*, 2006).

Desde 1990 se estudia su aplicación en la industria químico-farmacéutica y a finales de ese mismo año, tuvo lugar el primer ejemplo de separación de enantiómeros mediante cromatografía de lecho móvil simulado (Nicoud *et al.*, 2000). Debido a los prometedores resultados obtenidos, aumentó el interés por la técnica de manera que tan sólo cinco años después se instaló la primera planta para la producción de fármacos a gran escala en la industria UCB Pharma (McCoy, 2000).

El creciente interés por la tecnología SMB permite considerar esta técnica de separación como una de las más prometedoras del siglo XXI (Taylor, 2009).

3.5.3. Proceso de separación

La SMB es una tecnología de separación que utiliza el principio de los sistemas de contracorriente en continuo, que permite la maximización de las tasas de transferencia de masa y mejorar el uso de la fase estacionaria. A través de una unidad de SMB se puede obtener productos de alta pureza a partir de mezclas difíciles de separar. A pesar de que esta unidad se convierta en uno de los equipos más avanzados en procesos de separación, tal equipo se ha limitado a dos corrientes de salida (extracto y refinado), que sólo permite la separación de mezclas binarias. Si la mezcla se compone de más de dos componentes, uno de los flujos de salida siempre contendrá un número de componentes, mientras que el otro se puede recuperar como componente purificado. Se trata de una mezcla de tres componentes, una de las corrientes de salida para recuperar una sustancia con el grado deseado de pureza, mientras que las dos sustancias restantes están siendo recogidas en la otra corriente de salida. Si la mezcla se compone de cuatro componentes, o bien se recupera un componente en una de las corrientes de salida y el resto de ellos en la otra, o si es de interés, se separa la mezcla en dos fracciones que tienen dos componentes cada uno.

Este proyecto consiste en la separación de la mezcla obtenida de la oxidación de lactosa catalizada por glucosa-fructosa oxidorreductasa y Glucono- δ -lactonasa. Estas enzimas de las bacterias Zymomonas mobilis son capaces de oxidar la lactosa en presencia de fructosa a su respectivo ácido orgánico (ácido lactobiónico) y sorbitol. Para ello, se ha elegido como mejor opción para separar la mezcla de multicomponentes la tecnología de lecho móvil simulado (*Simulated Moving Bed*, SMB), de tal manera que los productos (ácido lactobiónico y sorbitol) puedan ser recuperados y se recirculen los sustratos no convertidos al reactor enzimático.

Por lo tanto, para la separación se utilizarán dos unidades SMB en cascada. La primera unidad se utilizará para recuperar el ácido lactobiónico. Mientras que la segunda unidad, servirá para separar el resto de componentes.

Como el ácido lactobiónico se presenta en forma de lactobianato potasio, las columnas de la primera unidad SMB están cargadas con la resina de intercambio iónico en forma de potasio, ver Fig. 17. La sal va a la corriente del refinado, mientras que el resto de componentes se recogen en el extracción.

Posteriormente, esta mezcla de tres compuestos se introduce en la segunda unidad SMB, la cual se carga con resina en forma de calcio para permitir la separación del sorbitol (resto del producto) de los otros dos sustratos (lactosa y fructosa, ambos se recogen en el refinado) (Borges da Silva, 2010).

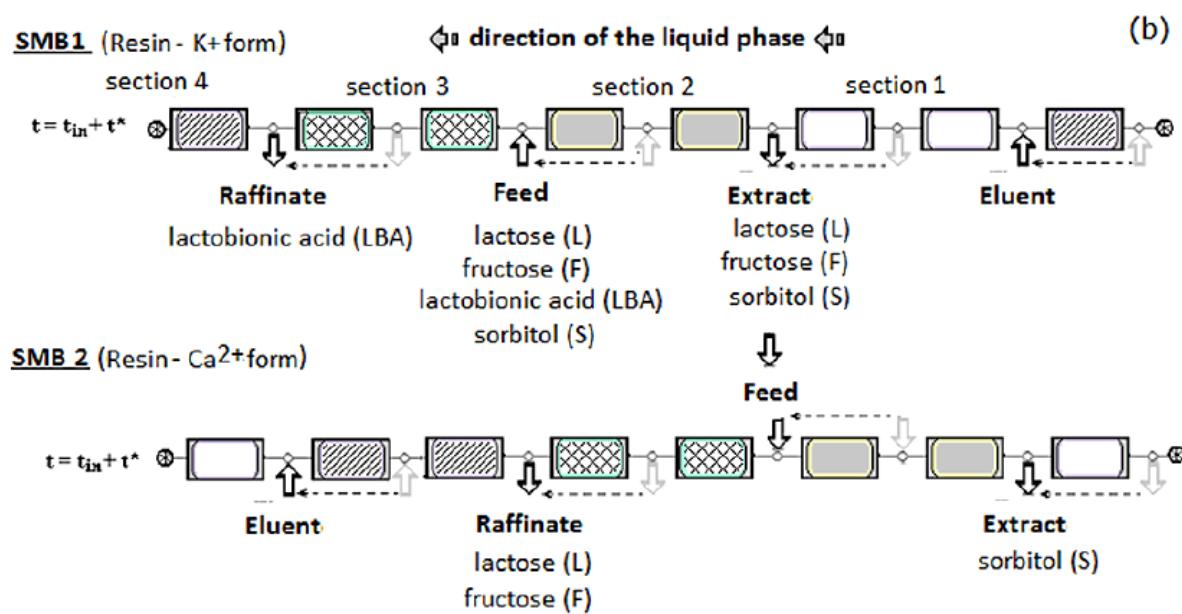


Fig. 17. Esquema de sistemas cromatográficos para la separación de la mezcla de la oxidación de la lactosa mediante el uso de células *Z. Mobilis*, mediante una unidad SMB 1 (para separar LBA) conectada a otra unidad SMB 2 (para recuperar el sorbitol y permitir el reciclaje de los sustratos).

Una solución ideal para el presente caso sería recuperar ambos sustratos de la reacción enzimática en la misma unidad de la cadena de recogida, y por lo tanto hacer que el reciclaje de los reactivos al sistema sea simple y de menor coste. Como se ha mencionado anteriormente, una primera unidad de SMB se puede envasar con la resina de intercambio iónico en la forma de potasio de manera que el LBA pueda separarse del sorbitol de los sustratos (fructosa y lactosa). De acuerdo con el orden de afinidades de los componentes, la resina iónica en la forma de calcio se utiliza como capa de adsorbente en la segunda unidad de SMB en serie, ya que el sorbitol es el componente más fuertemente adsorbido en esta resina, esta sustancia se recoge en la corriente de extracto, mientras que la lactosa y fructosa se recuperan en la salida del refinado.

3.6. CORRIENTES PRINCIPALES

Como se puntuó en apartados anteriores, la corriente de alimentación parte de un depósito que contiene una solución de compuestos que se formaron (ácido lactobiónico, sorbitol y agua) o quedaron sin reaccionar (fructosa y lactosa) en la etapa de reacción.



Fig. 18. Diagrama de bloques del proceso.

Haciendo un estudio, se ha determinado la composición que se obtendría en la etapa de reacción, y por tanto, la corriente inicial en este proyecto.

Los datos encontrados son los resultados obtenidos en la etapa de reacción después de realizar una ultrafiltración, por lo que la disolución sale muy diluida y esto repercutiría en los costes de forma que el proceso no sería rentable. Por este motivo, se ha decidido utilizar los datos de agua obtenidos a la salida del reactor y no los obtenidos en la ultrafiltración, para evitar ese exceso de agua innecesario.

Finalmente, las cantidades obtenidas en el estudio pueden verse en la tabla II.

Tabla II. Composición de la corriente de alimentación del proceso.

Compuesto	Cantidad (kg/carga)	Caudal másico (kg/h)
Ácido lactobiónico	1585.9	1585.9
Sorbitol	773.5	773.5
Lactosa	1577.0	1577.0
Fructosa	48.8	48.8
Agua	11801.4	11801.4
TOTAL	15786.6	15786.6

3.7. DISEÑO DE EQUIPOS PRINCIPALES

Sabiendo que se desea una producción de 237 toneladas de LBA en 160 días, se va a proceder en este apartado al diseño de los equipos principales necesarios en este proyecto. En el apéndice C, se encuentra el procedimiento más detallado de todos los cálculos realizados en este apartado.

3.7.1. Columna de adsorción

La adsorción consiste en la transferencia de masa entre una fase sólida y una fase fluida (líquida o gaseosa), que permite separar selectivamente de una solución, uno o varios compuestos de interés. La sustancia que se concentra en la superficie se define como el adsorbato, y el material sobre el cual éste se acumula se define como el adsorbente.

Una columna de adsorción sirve para separar compuestos indeseables de una corriente líquida o gaseosa.

Se dice que la columna de adsorción está empacada con el adsorbente, que se caracteriza por poseer sitios activos donde la impureza que se desea retirar se adsorbe por atracción de tipo eléctrico, físico o por reacción química.

La columna es generalmente cilíndrica, de área transversal circular, y el lecho adsorbente tiene una altura que abarca una parte significativa de ella.

Si el sorbato se encuentra en solución, se hace pasar a través de la columna desde arriba hacia abajo, generalmente por gravedad. Si se trata de un gas que contiene al sorbato, se hace pasar a través de la columna de abajo hacia arriba si el gas es más liviano que el aire; o en la dirección opuesta, si su densidad es mayor que la de este.

3.7.1.1. Determinación del volumen

Se va a suponer que la adsorción ocurre de manera instantánea e irreversible y que no se produce dispersión axial, de modo que se pueda aplicar la siguiente fórmula (Díaz, 2012):

$$\check{L}_T \cdot C_A \cdot t = W \cdot q \quad [1]$$

donde:

\check{L} es el caudal volumétrico del líquido a tratar, m^3/s ;

C_A es la concentración del componente que se va a separar, kg/m^3 ;

t es el tiempo, s;

W es la masa del lecho, kg;

q es la concentración de saturación, kg/kg.

Se puede relacionar el peso del lecho con el volumen del mismo mediante la siguiente expresión:

$$W = \rho_s \cdot V$$

donde:

W es la masa del lecho, kg;

ρ_s es la densidad de la resina, kg/m^3 ;

V es el volumen del lecho, m^3 .

Lo primero que se debe estimar para determinar el volumen de la columna será la cantidad de líquido a tratar en el proceso. El caudal volumétrico del líquido a tratar se calculará como el cociente entre el caudal másico y la densidad de dicha disolución.

Para ello, hay que tener en cuenta el caudal másico de la disolución almacenada en el tanque de almacenamiento de los productos de reacción. Según los estudios encontrados, este caudal sería 15786.6 kg/h .

Además, se debe tener en cuenta el caudal másico del eluyente (agua) empleado para llevar a cabo la separación. Esta cantidad se desconoce, por lo que se va a suponer un caudal volumétrico de 1000 kg/h .

De esta forma, se conoce que la cantidad de líquido a tratar en el proceso será $\hat{L}_T = 16786.6 \text{ kg/h}$.

La densidad a 20°C de la disolución formada por la solución almacenada en el tanque de los productos de reacción, más el agua (eluyente) utilizado para llevar a cabo la separación, se calculará a través de la siguiente ecuación:

$$(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}} = \frac{m_T}{\frac{m_L}{\rho_L} + \frac{m_F}{\rho_F} + \frac{m_{agua}}{(\rho_{agua})_{20^\circ\text{C}}} + \frac{m_{LBA}}{\rho_{LBA}} + \frac{m_S}{\rho_S}} \quad [2]$$

donde:

m_T es la masa total de la mezcla, kg;

m_L es la masa de lactosa, kg, y ρ_L es la densidad de lactosa, kg/m^3 ;

m_F es la masa de fructosa, kg, y ρ_F es la densidad de fructosa, kg/m^3 ;

m_{agua} es la masa de agua, kg, y ρ_{agua} es la densidad de agua a 20°C , kg/m^3 ;

m_{LBA} es la masa de LBA, kg, y ρ_{LBA} es la densidad de LBA, kg/m^3 ;

m_S es la masa de sorbitol, kg, y ρ_S es la densidad de S, kg/m^3 ;

Las composiciones de los compuestos que entran a la primera columna de adsorción se recogen en la tabla III.

Tabla III. Composición de los compuestos que entran a la primera columna de adsorción.

Compuesto	Caudal másico (kg/h)
Ácido lactobiónico	1585.9
Sorbitol	773.5
Lactosa	1577.0
Fructosa	48.8
Agua	12801.4
TOTAL	16786.6

Todas las densidades necesarias para el diseño del proceso se calcularán utilizando la ecuación [2]. En la tabla del Apéndice A se recogen las densidades de todos los compuestos presentes en las disoluciones.

La densidad a 20°C de la disolución a tratar será:

$$(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}} = 1098 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto, el caudal volumétrico del líquido a tratar en la primera columna sería:

$$\dot{V}_T = 15.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando las dos corrientes SMB en cascada para la mezcla dada, la corriente de extracto de la primera unidad de SMB está conectada a la corriente de alimentación de la segunda unidad, por lo que no hay acumulación en el proceso.

En esta operación el tiempo de conmutación se elige 8 h.

La composición del ácido lactobiónico para alimentar a la primera unidad SMB es establecida a partir de los resultados de la cinética enzimática ($1585.9 \text{ kg}/\text{h}$). El volumen de la disolución será 15.3 m^3 . Por tanto, haciendo el cociente entre la composición de LBA a la salida del reactor enzimático y el volumen de salida, se calculará la concentración de ácido lactobiónico:

$$C_A = 103.73 \text{ kg/m}^3 \text{ de LBA}$$

La determinación de la concentración de saturación se debe hacer de manera experimental. Como no se han encontrado valores, se va a utilizar la aproximación establecida por Nobre *et al.*, 2011.:

$$q = 2 \frac{\text{kg LBA}}{\text{kg resina K}^+}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación [1], se estima el volumen de la primera columna de adsorción:

$$V = 6.54 \text{ m}^3$$

Para estimar el volumen de la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Ahora el caudal másico que entra al segundo lecho sería el caudal másico que sale del primero una vez que se ha separado el ácido lactobiónico. Pero, también hay que tener en cuenta el eluyente utilizado para llevar a cabo la segunda separación. Se ha vuelto a suponer $1000 \text{ kg}/\text{h}$ de eluyente (agua). De esta forma, el caudal másico que se tiene para esta segunda columna será:

$$\hat{L}_T = 16200.7 \text{ kg/h}$$

La densidad de la disolución a 20°C se calculará aplicando la ecuación [2], pero sin el ácido lactobiónico que ya a sido separado. Dicha densidad será:

$$(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}} = 1051,7 \text{ kg/m}^3$$

Las composiciones de los compuestos que entran a la segunda columna de adsorción se recogen en la tabla IV.

Tabla IV. Composición de los compuestos que entran a la segunda columna de adsorción.

Compuesto	Caudal másico (kg/h)
Sorbitol	773.5
Lactosa	1577.0
Fructosa	48.8
Agua	13801.4
TOTAL	16200.7

Por tanto, el caudal volumétrico del líquido a tratar en la segunda columna sería:

$$\check{L}_T = 15.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

En esta operación el tiempo de conmutación vuelve a ser de 8 h.

La concentración del componente a separar, en este caso el sorbitol (S), será el cociente entre la cantidad de sorbitol que sale de la primera columna y el volumen de la disolución, siendo este en este caso, 15.4 m^3 . De forma que la concentración de sorbitol toma el siguiente valor:

$$C_A = 50.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de } S$$

La concentración de saturación vuelve a ser la misma supuesta en el apartado anterior:

$$q = 2 \frac{\text{kg LBA}}{\text{kg resina Ca}^{2+}}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación [1] se estima el volumen de la segunda columna de adsorción:

$$V = 2 \text{ m}^3$$

3.7.1.2. Determinación de la superficie y del diámetro de la columna

El cálculo de la superficie de la columna se puede realizar a partir de la velocidad superficial mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$v^* = \frac{\check{L}}{S} \quad [3]$$

donde:

v^* es la velocidad superficial, m/s;

\dot{L} es el caudal volumétrico de líquido a tratar, m^3/s ;

s es la superficie, m^2 .

Se va a considerar que la velocidad superficial en una columna de adsorción es $v^* \approx 5 \cdot 10^{-3} m/s$ (Días, 2012).

Sustituyendo los datos en la ecuación [3] se obtiene la superficie de la primera columna:

$$s = 0.85 \text{ } m^2$$

Atendiendo que la columna presenta un diseño cilíndrico, se puede determinar que la superficie de la base será:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [4]$$

Despejando la ecuación [4], se obtiene el diámetro de la primera columna:

$$D = 1.04 \text{ } m$$

Para el diseño de la columna es necesario aplicar un factor de seguridad, estimado en un 15 %, de modo que los valores reales de diseño serán los recogidos en la tabla V:

$$S = 0.85 \cdot (1 + 0.15) = 0.98 \text{ } m^2$$

$$D = 1.04 \cdot (1 + 0.15) = 1.20 \text{ } m$$

Tabla V. Diámetro y área calculados aplicando el factor de seguridad para la primera columna de adsorción.

Parámetro	Valor teórico
$S (m^2)$	0.98
$D (m)$	1.20

Para la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Aplicando la ecuación [3], la superficie de la segunda columna de adsorción será:

$$s = 0.86 \text{ } m^2$$

Despejando el diámetro de la ecuación [4], se obtendrá para la segunda columna:

$$D = 1.04 \text{ m}$$

Aplicando el factor de seguridad acordado anteriormente, los valores reales de diseño serán los recogidos en la tabla VI:

$$D = 1.04 \cdot (1 + 0.15) = 1.20 \text{ m}$$

$$S = 0.86 \cdot (1 + 0.15) = 0.98 \text{ m}^2$$

Tabla VI. Diámetro y área calculados aplicando el factor de seguridad para la segunda columna de adsorción.

Parámetro	Valor teórico
D (m)	1.20
S (m ²)	0.98

3.7.1.3. Determinación de la altura de la columna

Considerando la columna como un cuerpo cilíndrico:

$$V = S \cdot h \quad [5]$$

donde:

V es el volumen de la columna de adsorción, m³;

S es la superficie, m²;

h es la altura de la columna, m.

Aplicando la ecuación [5] se determina la altura de la primera columna:

$$h = 6.70 \text{ m}$$

Para la segunda columna se aplica la misma ecuación y se obtiene una altura de:

$$h = 2.03 \text{ m}$$

3.7.1.4. Determinación de la caída de presión de la columna.

Para calcular la caída de presión en el sistema se debe conocer el tipo de flujo con el que se está operando. Para ello, se determina el Reynolds de partícula para columnas:

$$Re_p = \frac{D_p \cdot v^* \cdot \rho}{\mu} \quad [6]$$

donde:

Re_p , el Reynolds de partícula, adimensional;

D_p , el v^* , velocidad superficial, m/s ;

ρ , densidad, kg/m^3 ;

μ , viscosidad del fluido, $kg/(m \cdot s)$.

diámetro de partícula, m ;

La primera columna está rellena con resina en forma de potasio ($65 \mu m$ de tamaño medio de partícula).

Aplicando la ecuación [6] se obtiene, $Re_p = 0.27$, de forma que se confirma la suposición inicial y el régimen de flujo es laminar.

Para regímenes laminares de flujo se puede emplear la fórmula de Blake-Kozeny:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot v^* \cdot \mu}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3} \quad [7]$$

donde:

$\frac{\Delta P}{L}$, caída de presión por longitud, Pa/m ;

ε , porosidad, adimensional;

v^* , velocidad superficial, m/s ;

μ , viscosidad, $kg/(m \cdot s)$;

D_p , diámetro de partícula, m .

Los valores típicos de porosidad para columnas de relleno se estiman entre valores de 0.4 y 0.5. Por lo que para los siguientes cálculos, se ha tomado un valor de $\varepsilon = 0.45$.

Aplicando la ecuación [7] se obtiene $\frac{\Delta P}{L} = 5.91 \cdot 10^5 Pa/m$. Sabiendo que la altura de la primera columna de adsorción es 6.70 m, se determina la caída de presión de la primera columna de adsorción:

$$\Delta P = 39.57 bar$$

Para la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Esta columna está rellena con resina en forma de calcio ($75 \mu\text{m}$ de tamaño medio de partícula).

Aplicando la ecuación [6] se obtiene, $Re_p = 0.37$, de forma que se confirma la suposición inicial y el régimen de flujo es laminar.

Aplicando la ecuación [7] se obtiene $\frac{\Delta P}{L} = 4.44 \cdot 10^5 \text{ Pa/m}$. Sabiendo que la altura de la segunda columna de adsorción es 2.03 m, se determina la caída de presión de la segunda columna de adsorción:

$$\Delta P = 9 \text{ bar}$$

De esta forma, en la tabla VII se recogen todos los datos calculados para ambas columnas de adsorción:

Tabla VII. Datos obtenidos para las columnas de adsorción presentes en la planta.

Columna	Volumen (m^3)	Superficie (m^2)	Diámetro (m)	Altura (m)	ΔP (bar)
SMB 1	6.54	0.98	1.20	6.70	39.57
SMB 2	2.00	0.98	1.20	2.03	9.00

3.8. DISEÑO DE EQUIPOS AUXILIARES

En todos los procesos industriales son necesarios numerosos equipos auxiliares para el correcto funcionamiento del mismo, a pesar de no ser el objetivo principal del diseño.

Por tanto, en este apartado se realiza el diseño de todos los equipos auxiliares necesarios: tuberías, tanques de almacenamiento, bombas y válvulas.

3.8.1. Sistema de tuberías

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas del proceso se dividirán éstas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para el diseño del sistema de tuberías es la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las conducciones. Dicha velocidad viene determinada por el caudal y el diámetro de la sección interna de la conducción, y para cada fluido tiene un valor máximo que no debe ser sobrepasado, ya que al contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. Los valores más corrientes en la práctica son los mostrados en la tabla VIII (McCabe *et al.*, 1991).

Tabla VIII. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías (McCabe et al., 1991, p.190)

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

El problema inicial a la hora de bombear un fluido es elegir el diámetro de la tubería. Normalmente, los líquidos se bombean con valores de Re entre $(0.3-1) \cdot 10^5$, ya que velocidades de más de 5 m/s pueden dar erosión excesiva; y los gases se bombean con valores de Re entre $(1-5) \cdot 10^5$.

Conociendo el caudal másico, \hat{L} , y la densidad del fluido circulante, ρ , se puede determinar la velocidad óptima, y con ella, el diámetro óptimo de tubería cilíndrica (Díaz, 2012).

$$V_{opt} = 10.74 \frac{\hat{L}^{0.1}}{\rho^{0.36}} \quad [8]$$

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot \hat{L}}{\pi \cdot \rho \cdot V_{opt}}} \quad [9]$$

donde:

v_{opt} es la velocidad óptima, m/s;

D_{opt} es el diámetro económico óptimo, m.

A partir de las ecuaciones [8] y [9], se obtienen los datos de diseño de las tuberías que se presentan en la tabla VIX. Además, en esta tabla VIX aparecen también los valores reales que tendrán las variables de estas tuberías, de forma acorde a los diámetros comerciales de las conducciones. Los cálculos realizados en este apartado se recogen en el apéndice C.

Tabla VIX. Velocidad de circulación de fluido y diámetro de tubería para cada tramo de tubería de las tuberías empleadas en toda la planta.

Tubería	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (m)	D (in)	v (m/s)
Almacenamiento productos de reacción	1.00	0.071	3	0.87
Almacenamiento eluyente 1 ^a columna	0.79	0.021	1	0.55
Almacenamiento LBA	0.67	0.022	1	0.49
Disolución entre columnas	1.01	0.07	3	0.88
Almacenamiento S	0.66	0.017	3/4	0.50
Almacenamiento eluyente 2 ^a columna	0.79	0.021	1	0.55
Almacenamiento F+L+agua	1.02	0.072	3	0.91

Todas las tuberías están fabricadas en acero inoxidable 316. Se debe evitar en la medida de lo posible las soldaduras, utilizando en su caso abrazaderas. Las tuberías irán ancladas al suelo o a las paredes para evitar vibraciones.

3.8.2. Bombas de impulsión

Para realizar la impulsión del fluido por las tuberías, es necesario colocar bombas, debido a que en la mayoría de los casos el flujo por gravedad no es posible.

La potencia necesaria de cada bomba se calculará haciendo un balance de energía mecánica a través de la ecuación general de Benouilli para fluidos incompresibles, donde el subíndice 1 indica la entrada del fluido y el subíndice 2 la salida del mismo (Díaz, 2012):

$$\frac{1}{2\alpha}(\langle v_2 \rangle^2 - \langle v_1 \rangle^2) + g \cdot (h_2 - h_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \widehat{W}_s + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot \frac{L}{R_H} \cdot f + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot e_v + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)_{otros} = 0 \quad [11]$$

donde:

α es el factor de corrección de energía cinética y depende del valor del Re (si el flujo es turbulento $\alpha = 1$; y si es laminar $\alpha = 0,5$);

\widehat{W}_s es la potencia de la bomba negativa [-] por unidad de flujo másico, m^2/s^2 . Sería positiva [+] cuando se genera energía;

$\langle v \rangle$ es la velocidad media del fluido en la tubería, m/s;

g es la aceleración de la gravedad, m/s^2 ;

f es el factor de fricción de Fanning y es adimensional;

R_H es el radio hidráulico, m;

e_v es el coeficiente de accesorios en tuberías y es adimensional.

$\sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot \frac{L}{R_H} \cdot f$ corresponde a la energía de fricción en tuberías, m^2/s ;

$\sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot e_v$ es la energía de fricción en accesorios, m^2/s ;

$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{otros}$ corresponde a la pérdida de carga debido a la diferencia de presión en otros equipos, m^2/s .

Considerando que:

- La variación de velocidades entre la entrada y la salida es despreciable.
- La diferencia de altura para cada tramo de tubería se supone que es de 3 metros. Las entradas de fluidos en las columnas de adsorción y en los tanques de almacenamiento tienen lugar por la parte superior, mientras que las salidas de fluidos de los tanques de almacenamiento y las columnas se llevan a cabo por la parte inferior.
- Tanto la presión de carga como la de descarga son igual a la presión atmosférica. De forma que, la diferencia de presiones entre la entrada y salida de cada tramo de tubería es aproximadamente cero.

Teniendo en cuenta las suposiciones anteriores, la ecuación del balance de Bernouilli quedará simplificada en la ecuación [12]:

$$\hat{W}_s = 3 \cdot g + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot \frac{L}{R_H} \cdot f + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot e_v + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)_{otros} \quad [12]$$

El radio hidráulico se define como la sección libre para el fluido entre el perímetro mojado (Días, 2012). Es decir, para el caso de una tubería cilíndrica será la ecuación [13]:

$$R_H = \frac{\text{Sección libre para flujo}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}{\pi \cdot D} = \frac{D}{4} \quad [13]$$

Para calcular la fricción del tramo recto de una tubería, es necesario calcular el número de Reynolds mediante la ecuación [14]. A partir de las propiedades de la disolución, presentes en el apéndice A y de las velocidades y diámetros calculados en el apartado C.2.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad [14]$$

Para estimar el factor de fricción de Fanning en régimen turbulento se utiliza el diagrama de Moody, presente en la Fig.19.

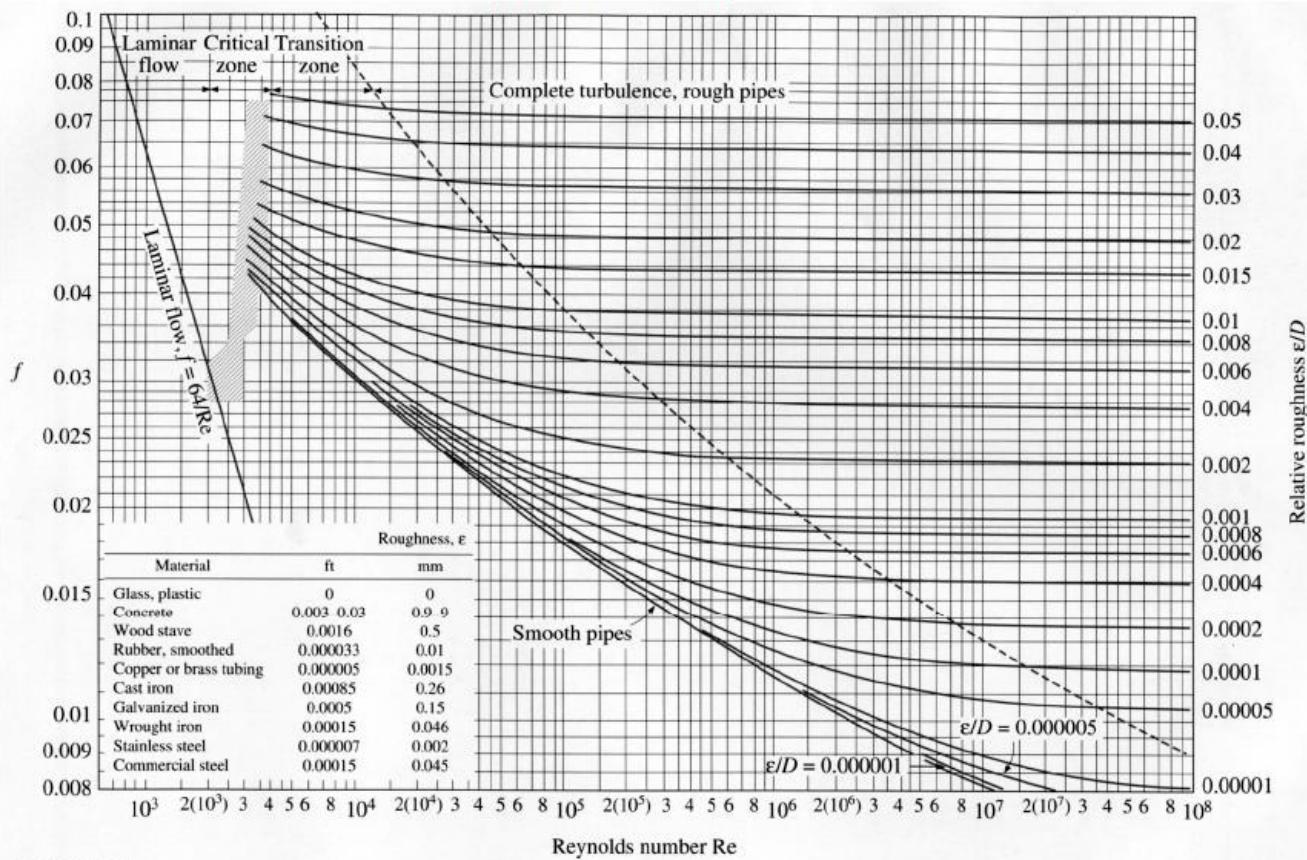
Diagrama de Moody

Fig.19. Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción de Fanning en función del número de Reynolds (Guía 2000, 2011).

Para utilizar esta gráfica es necesario calcular la rugosidad (ε/D), a partir de la rugosidad de la pared de la tubería de acero inoxidable (Stainless Steel, $\varepsilon = 0,002 \text{ mm}$, según la leyenda del diagrama de Moody).

$$\frac{\varepsilon}{D} = 2,62 \cdot 10^{-5}$$

Posteriormente, el factor de fricción de Fanning se calcula a través de la Fig.19 y será:

$$f = 0,02$$

El coeficiente de accesorios en tuberías, se calculará utilizando la ecuación [15]:

$$e_V = \left(\frac{L_e}{D} \right) \cdot f_D \quad [15]$$

donde:

L_e es la longitud equivalente en una tubería recta del accesorio, m;

f_D es el factor de fricción de Darcy, es adimensional ($f_D = 4 \cdot f$).

Aunque también se pueden utilizar los valores aproximados de e_v para diferentes accesorios propuestos en la tabla X.

Tabla X. Factores de pérdidas por fricción y longitudes equivalentes relativas en accesorios (Adaptación A. Valiente, 2002, p. 695).

Accesorio	e_v	L_e/D
Válvula de globo abierta	7,5	350
Válvula de ángulo abierta	3,8	170
Válvula de compuerta abierta	0,15	7
Válvula de compuerta abierta (3/4)	0,85	40
Válvula de compuerta medio abierta	4,4	200
Válvula de compuerta abierta (1/4)	20	900
Codo de 90 °	0,7	32
Codo de 90 ° corto	0,9	41
Codo de 90 ° largo	0,4	20
Codo de 45 °	0,35	15
Te salida lateral	1,5	67
Te paso derecho	0,4	20
Curvatura de 180 °	1,6	75
Válvula de retención de bola	70	3500
Válvula de retención de bisagra	2	100
Medidor de agua, disco	7	350

En el diseño de las bombas, solo se tendrá en cuenta la caída de presión, $\Delta P/\rho$, de las columnas de adsorción.

Una vez calculada la potencia de la bomba por unidad de flujo másico, \widehat{W}_s , se calculará la potencia real de la bomba W_p aplicando la ecuación [16]:

$$W_p = \widehat{W}_s \cdot \frac{\widehat{L}}{\eta} \quad [16]$$

donde:

W_P es la potencia real de la bomba, W;

\widehat{W}_S es la potencia de la bomba negativa [-] por unidad de flujo másico, m^2/s ;

\widehat{L} es el flujo másico, kg/s;

η es la eficacia de la bomba (suele presentar valores entre 0,70 y 0,80). Se supone una eficacia del 70 % para las bombas (Díaz, 2012).

Las bombas utilizadas serán bombas centrífugas. Se colocarán al inicio de la tubería, próximas al equipo, de este modo se evita la cavitación. La cavitación es el fenómeno que se produce cuando el fluido pasa de estado líquido a estado gaseoso dentro de una tubería en las proximidades de una bomba, debido a que la presión de succión es ligeramente mayor que la presión de vapor del líquido, generando ruidos y vibraciones pudiendo ocasionar graves daños a la bomba.

Las válvulas utilizadas serán válvulas de globo abiertas, utilizadas frecuentemente para controlar el flujo de fluidos. Tendrán solo dos posiciones, totalmente abiertas permitiendo el flujo completo de los fluidos, o totalmente cerradas impidiendo el flujo de fluidos.

Los valores de las potencias calculada y real de cada una de las bombas presentes en el proceso se desarrollan en el apéndice C y se recogen en la tabla XI.

Tabla XI. Valores de las potencias presentes en la planta.

Tubería	$\widehat{L} (m^3/s)$	$\widehat{W}_S (m^2/s^2)$	$W_P (W)$
Almacenamiento de productos de reacción	$3.97 \cdot 10^{-3}$	39.29	246.15
Almacenamiento eluyente	$2.78 \cdot 10^{-4}$	40.96	16.25
Disolución entre columnas	$4.00 \cdot 10^{-3}$	38.91	234.73

3.8.3. Tanques de almacenamiento

A lo largo del proceso descrito en este proyecto son necesarios numerosos tanques de almacenamiento, ya sea para el almacenamiento de los productos de reacción o tanques para el almacenamiento de las disoluciones intermedias o productos finales. Todos los tanques están sometidos a presión atmosférica.

Introduciendo la relación:

$$H_T = 3 \cdot D_T \quad [17]$$

en la definición de volumen, ecuación [18], se llega a la ecuación [20]:

$$V_T = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot H_T \quad [18]$$

$$V_T = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot 3D_T \quad [19]$$

$$V_T = \frac{\pi \cdot 3 \cdot D_T^3}{4} \quad [20]$$

Despejando el diámetro del tanque de la ecuación [20], se obtiene la ecuación [21]:

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_T}{3 \cdot \pi}} \quad [21]$$

Aplicando la ecuación [17], se obtendrá la altura del tanque.

Los cálculos de los volúmenes y dimensiones de los tanques se recogen en el apéndice C y se recogen en la tabla XII.

Tabla XII. Capacidad y dimensiones de los tanques presentes en la planta.

Tanque	$V_T (m^3)$	$D_T (m)$	$H_T (m)$
Productos reacción	43.81	2.65	7.95
Eluyente (H_2O)	9.22	1.58	4.73
LBA	8.15	1.51	4.54
S	4.75	1.26	3.79
$L + F + H_2O$	45.65	2.68	8.05

Todos los tanques del proceso, al igual que las tuberías, están fabricados en acero inoxidable 316.

4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD E IMPACTO AMBIENTAL

Es muy importante destacar la importancia de la seguridad e impacto ambiental en cualquier proceso, en particular en un proceso industrial químico. La actividad productiva en un proceso químico conlleva el manejo y generación de sustancias químicas. Por ello, cualquier actividad o trabajo que se vaya a realizar debe ir precedido de un análisis para asegurarse de que se va a llevar a cabo en las condiciones de seguridad necesarias y que cumple con la normativa medioambiental. El análisis de seguridad e impacto ambiental de un determinado proceso está siempre en continuo desarrollo para mejorar y adaptar la planta de acuerdo a la normativa vigente. Se debe proveer y mantener un trabajo seguro. Para ello se deben incorporar también en las etapas de diseño, las medidas preventivas, correctoras y de protección que se requieran (Díaz, 2012).

4.1. NORMATIVA DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTAL

La legislación industrial se centra en gran medida en la seguridad de las instalaciones industriales y establece las normas que determinan qué tiene que cumplir una instalación industrial para ser considerada segura. La ley marco en este campo es la Ley de Industria, pero las normas que tienen una aplicación directa en el día a día industrial son los Reglamentos Técnicos y las instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), que acompañan a estos reglamentos (Díaz, 2012).

4.1.1. Normativa de seguridad

La normativa española de higiene y seguridad en el trabajo está constituida fundamentalmente, por la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, de 8 de noviembre). Ésta se complementa mediante los reales decretos y órdenes ministeriales, además de otras normas, de carácter legal o convenios colectivos, que establecen la adopción de medidas preventivas en el ámbito laboral, entre las que se encuentran normas de industria, medio ambiente, sanidad y obras públicas.

Esta ley establece un cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para otorgar y promover la mejora del medio de trabajo con el fin de conseguir un progreso en las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores (BOE, Boletín Oficial del Estado, 1995).

4.1.1.1. Real Decreto 485/1997, de 14 de abril

Se establecen las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo y obliga al empresario a adoptar las medidas precisas para que en los lugares de trabajo exista una señalización de seguridad y salud que cumpla lo establecido por el mismo.

4.1.1.2. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril

Se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. El diseño de la zona de trabajo debe facilitar la actuación en situaciones de emergencia, en especial en caso de incendio, y posibilitar, cuando sea necesario, la rápida y segura evacuación de los trabajadores.

4.1.1.3. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo

Establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la elección, utilización por los trabajadores en el trabajo, y mantenimiento de los equipos de protección individual (EPIs).

4.1.1.4. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio

Establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo, como máquinas, aparatos e instrumentos.

4.1.1.5. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril

Establece la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

4.1.2. Normativa de protección medioambiental

4.1.2.1. Ley 21/2013, de 9 de diciembre

Ley de Evaluación Ambiental. Establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, garantizando en todo el territorio del estado un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible.

4.1.2.2. Ley 16/2002, de 1 de julio

Establece un sistema de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, para evitar, reducir y controlar la contaminación atmosférica, del agua y del suelo (BOE, 2002).

4.1.2.3. Ley 22/2011, de 28 de julio

Regula la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. También regula el régimen jurídico de los suelos contaminados (BOE, 2011) (INSHT, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2012).

4.1.2.4. Ley 26/2007, de 23 de octubre

Regula la responsabilidad de los operadores de prevenir, evitar y reparar los daños medioambientales, de conformidad con los principios de prevención y de que “quien contamina paga” (BOE, 2007).

4.2. PELIGROSIDAD DE LOS EQUIPOS DE TRABAJO

La normativa denomina equipos de trabajo a cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo, y determina que no deben representar un peligro para los trabajadores.

La actuación preventiva de la empresa se basa en la adquisición de equipos seguros, la utilización y el mantenimiento apropiados, la evaluación de riesgos, y la formación de los trabajadores, tal y como se establece en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

El fabricante debe ser quién asegure que la máquina no compromete a la seguridad ni a la salud de las personas, cuando está instalada y mantenida convenientemente y se utiliza de acuerdo a su destino.

Una de las medidas preventivas más importantes son las revisiones periódicas de los equipos, a pesar de que el riesgo que implica este proceso industrial químico no sea muy elevado.

Además, todo el personal de la planta debe estar cualificado para desempeñar su puesto de trabajo, conocer a la perfección el desarrollo del proceso y los riesgos que éste implica para poder solventar sin ningún problema las situaciones de riesgo que se puedan presentar.

4.2.1. Riesgos eléctricos

La energía eléctrica es necesaria en toda instalación industrial para permitir el uso de iluminación, maquinarias, herramientas y equipos.

Para garantizar la seguridad de las personas y las instalaciones es necesario que los trabajadores que realizan trabajos en los que se exponen a los riesgos de la electricidad deben conocer los peligros a los que se someten y las medidas de prevención evitar el mayor número de accidentes posible. Para ello es necesario cumplir con las medidas de seguridad que marca la normativa y aplicar las recomendaciones adecuadas para cada situación.

Los riesgos eléctricos suelen ocurrir a través de contactos directos e indirectos.

El contacto directo se produce cuando la persona entra en contacto con una parte activa de la instalación. Puede ser entre dos conductores o entre un conductor activo y tierra. Este tipo de contacto genera consecuencias graves por la cantidad de corriente que circula por el cuerpo. Las medidas de protección contra este tipo de contacto consisten en un alejamiento, aislamiento o recubrimiento de las partes activas de la instalación para evitar cualquier tipo de contacto o manipulación, o en el caso de que éstos ocurran, que la corriente de contacto sea mínima.

El contacto indirecto se produce cuando la persona entra en contacto con masas puestas accidentalmente en tensión. Tiene lugar al tocar ciertas partes que habitualmente no están diseñadas para el paso de corriente eléctrica, pero que pueden quedar en tensión por algún defecto (partes metálicas o masas de equipos o accesorios). Las medidas de protección contra este tipo de contacto depende de si se trata de un sistema de protección de clase A o B. Los de clase A reducen el riesgo por si mismos impidiendo el contacto entre masas y elementos conductores y haciendo que los contactos no sean peligrosos, como puede ser el doble aislamiento, la separación de circuitos o el empleo de pequeñas tensiones de seguridad. Mientras que los de clase B son sistemas activos que desconectan o cortan la alimentación cuando se detectan condiciones peligrosas, asegurando la desconexión de la instalación lo más rápido posible, como pueden ser un diferencial o la puesta a tierra (Aguilera, 2009).

Los sistemas de protección contemplados en el reglamento electrotécnico se resumen en la tabla XIII.

Tabla XIII. Sistemas de protección contemplados en la ITC-BT-24 del reglamento electrotécnico para baja tensión (INSHT, 2014).

PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ELÉCTRICOS DIRECTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Por recubrimiento de las partes activas • Por medio de barreras o envolventes • Por alejamiento • Mediante interruptores diferenciales (complementaria)
PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ELÉCTRICOS INDIRECTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Por corte automático de la alimentación • Por empleo de equipos de Clase II • Por separación eléctrica de circuitos • Por conexión equipotencial local

4.2.2. Riesgos mecánicos

El riesgo mecánico se define como el conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de los elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

Entre los peligros mecánicos que pueden llegar a producir las máquinas se pueden destacar: peligro de cizallamiento, peligro de atrapamiento o de arrastre, peligro de aplastamiento, de sólidos, de líquidos, peligro de corte o de enganche, peligro de abrasión, peligro de perforación o peligro de impacto.

El riesgo mecánico generado por partes de la máquina está condicionado fundamentalmente por su forma (aristas cortantes, partes agudas), su posición relativa (ya que cuando las piezas de máquinas están en movimiento, pueden originar zonas de atrapamientos, aplastamientos, cizallamiento, etc.), su masa y estabilidad (energía potencial), su masa y velocidad (energía cinética), su resistencia mecánica (a la rotura o deformación) y su acumulación de energía (por muelles o depósitos a presión).

Cualquier lugar, equipo o maquinaria que represente un riesgo debe estar prácticamente protegido, apantallado, cerrado o cubierto en cualquier forma efectiva, de tal modo que ninguna persona pueda distraídamente ponerse en contacto con el punto de peligro (UC3M, 2017).

4.2.3. Riesgos de incendios

Un incendio es un fuego incontrolado cuyos efectos son generalmente no deseados, llegando a producir lesiones personales por el humo, gases tóxicos y altas temperaturas, y daños materiales a las instalaciones y productos fabricados.

Para que aparezca un fuego tiene que darse la existencia de un combustible, un comburente que en la mayoría de los casos será el oxígeno del aire y calor. Estos tres elementos conjuntamente con reacciones en cadena provocadas por la auto inflamación de los gases desprendidos por el combustible, conforman el tetraedro del fuego. La minimización o eliminación de alguno de estos elementos representa un aspecto clave en la extinción de un fuego.

La protección contra incendios comienza con el estricto cumplimiento de adecuadas normas de seguridad que eviten el inicio del incendio. El conocimiento del fuego, de los productos de combustión y de los agentes extintores resulta fundamental para poder evitar accidentes o llegado el caso, poder utilizar los elementos apropiados para dominar un incendio sin poner en riesgo su vida y la de los demás (UNICEN, s.f.).

4.3. PELIGROSIDAD DE LOS COMPUESTOS

Los fabricantes, importadores y suministradores están obligados a envasar y etiquetar adecuadamente los productos utilizados en el trabajo.

En lo que se refiere al riesgo derivado de la utilización de productos químicos, esta información está recogida en su etiqueta y se amplia mediante la ficha de datos de seguridad.

La necesidad de tener información sobre el riesgo química no es exclusivo de los productos comercializados sino que incluye cualquier producto presente en el lugar de trabajo, no siendo aceptable la presencia de productos sin etiquetar. Disponer de la ficha de datos de seguridad de los productos utilizados permite al empresario establecer procedimiento de trabajo seguros y tomar medidas para el control y reducción del riesgo, así como facilitar a los trabajadores información y datos complementarios a los contenidos en la etiqueta.

La clasificación de los productos químicos en una o varias categorías de peligro se efectúa a partir de datos existentes, disponibles u obtenidos mediante métodos de ensayo, aplicando unos determinados criterios para categoría de peligro. (INSHT, 1995).

Para manipular cualquier sustancia química utilizada en algún proceso químico es necesario utilizar equipos de protección personal, como ropa de trabajo, mascarilla, guantes y gafas de seguridad, para evitar la inhalación y el contacto, que podrían llegar a ser nocivas en exposiciones repetidas o prolongadas.

4.3.1. Lactosa, fructosa, ácido lactobiónico y sorbitol

Los compuestos químicos lactosa, fructosa, ácido lactobiónico y sorbitol no están considerados como sustancias o mezclas peligrosas según el reglamento CE nº 1097/2006 y CE nº 1272/2008.

No es necesario el uso de medidas especiales para su manipulación, no obstante, al tratarse de compuestos químicos se deben adoptar unas medidas de protección básicas. Para la protección de los ojos se utilizarán gafas de seguridad, y para la protección de las manos se utilizarán guantes de caucho nitrilo.

La información adicional, así como la relativa a primeros auxilios, puede consultarse en el apéndice D de este proyecto.

4.4. SEGURIDAD EN PLANTA

La seguridad en las plantas químicas está intrínsecamente relacionada con la seguridad del personal, de los equipos, y del entorno de la planta. Es esencial que las operaciones que se realicen en las plantas sean seguras, ya que en ellas se trabaja con grandes cantidades de material que puede ser tóxico, inflamable y/o explosivo, y las emisiones accidentales de los materiales pueden ocasionar graves problemas mediambientales, pérdidas económicas y daños a las personas. Aunque la seguridad de la industria química es bastante alta, son muchas las vidas que se han perdido por culpa de los accidentes, algunos de ellos auténticas catástrofes (Flixborough, 1974; Seveso, 1976; Bhopal, 1984), por lo que garantizar la seguridad es siempre importante.

En las plantas modernas se disponen de varios niveles de protección para mantener una operación segura, siendo cada una de las capas independientes con las demás. En la Fig. 20 se representan las diferentes capas de protección en una planta de proceso.



Fig. 20. Capas de protección en una planta de proceso (Lanchas y Galán, 2008).

En primer lugar se trata de diseñar procesos intrínsecamente seguros. La siguiente capa de protección la constituye el sistema de control que regula la operación de la planta y suministra información al operador. La capa de protección física está constituida por válvulas de seguridad, discos de ruptura y otros elementos similares. A este nivel nunca se debería de llegar ya que es muy difícil instalar elementos que siempre sean lo suficientemente grandes y que actúen lo suficientemente rápido en caso de emergencia.

La capa fundamental en la protección de las plantas es el sistema automático de seguridad, que se sitúa entre el sistema de control y los elementos físicos de protección, actuando de forma automática cuando se detecta una situación anormal, intentando que el uso de los sistemas de protección física sea mínimo (Lanchas y Galán, 2008).

4.5. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES

Aunque algunos de los métodos de protección de los trabajadores se han mencionado en apartados anteriores, conviene mencionarlos en conjuntos para resaltar su relevancia.

La protección de los trabajadores se fundamenta en los equipos de protección individual (EPI). Se entiende por EPI cualquier equipo destinado a ser llevado por el trabajador para que lo proteja de uno o más riesgos que puedan amenazar su seguridad y/o salud. Éstos, se proporcionan al trabajador y a cualquier persona ajena al proceso productivo que se encuentre dentro de la planta. El uso de estos equipos son obligatorios en las partes del proceso que lo requieran. Estos equipos de protección individual están formados por: protectores de cabeza (casco de seguridad, gorros...), protectores de oído (tapones, orejeras...), protectores de los ojos y de la cara (gafas de seguridad, pantallas de soldadura...), protectores de las vías respiratorias (mascarillas...), protectores de manos y brazos (guantes, manoplas...), protectores de pies y piernas (calzado de seguridad, cubrecalzado...), protectores de la piel (cremas de protección y pomadas) y protección total del cuerpo (bata) (Real Decreto 773/1997).

4.6. IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el procedimiento que incluyen el conjunto de estudios, informes técnicos y consultas que permiten estimar las consecuencias que un determinado proyecto, instalación o actividad cauda sobre el medio ambiente. La EIA se recoge en el Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre.

Con el objetivo de la identificación y cuantificación de impactos ambientales ocasionados por la planta, tanto en fase de desarrollo como en modo operativo se ha desarrollado la siguiente matriz de Leopold. La matriz de Leopold es un método universalmente empleado para realizar la evaluación del impacto ambiental que pueda producir un determinado proyecto. Se trata de una matriz donde se muestran las acciones del proyecto o actividades en un eje (columnas) y los factores o componentes ambientales posiblemente afectados en el otro eje de la matriz (filas). Cuando se presume que una acción determinada va a provocar un cambio en el factor ambiental, este se apunta en el punto de intersección de la matriz y se describe además su magnitud e importancia.

- Magnitud: se anota en la parte superior del triángulo formado por la celda con la línea diagonal. Indica el grado de extensión o escala del impacto precedido del signo + o – según sea un impacto positivo o negativo. La magnitud se puntúa del 1 al 10 (-1 si la alteración es mínima, 10 si es máxima, el cero no es válido).
- Importancia se anota en la parte inferior del triángulo formado por la celda con la línea diagonal. Indica el grado de incidencia de la acción impactante sobre un factor. La importancia se puntúa del 1 al 10 (el cero no es válido).

La estimación de la magnitud y de la importancia son subjetivas (no se aplica en este caso una fórmula para deducir la importancia del impacto, sino la experiencia del evaluador).

Cabe recordar la finalidad de este proyecto como una solución a la importante contaminación que producen los vertidos de lactosuero en el medio ambiente.

La matriz de Leopold elaborada se presenta en la Fig. 21.

2. CARACTERÍSTICAS O CONDICIONES DEL MEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE

1. ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES											
A. MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN				B. TRANSFORMACIÓN DEL SUELO Y CONSTRUCCIÓN			C.		D. TRATAMIENTO Y VERTIDO DE RESIDUOS		E. ACCIDENTES
A. Modificación del hábitat	B. Control del río y modificación del caudal	C. Canalización	D. Ruidos y vibraciones	A. Emplazamientos industriales y edificios	B. Carreteras y caminos	C. Líneas de transmisión eléctrica y corredores	D. Almacenamiento de productos	A. Camiones	A. Vertidos de effuentes líquidos	B. Descargas de aguas calientes (de refrigeración)	C. Reciclado de residuos
ACCIONES PROPUESTAS											
A. Materiales de construcción											
B. Suelos		1. TIERRA									
A. Continental	-2 3	-2 4	-2 4						-4 7	-2 5	
B. Subterránea	-1 4	-2 5	-2 5						-3 6	-1 5	
C. Calidad		-1 5							-2 5	-2 5	
D. Temperatura	-1 5	-2 5	-1 5	-1 5					-2 8	-2 8	
E. Recarga		-2 5	-2 3						-3 4		-3 3
A. Calidad (gases, partícula)					-2 3						-1 5
B. Temperatura	-2 3								-2 4	-2 4	-1 5
A. Árboles	-2 4		-2 5		-2 5				-2 5	-2 5	-1 7
B. Arbustos	-2 4		-2 5		-2 5				-2 5	-2 5	-1 7
C. Plantas acuáticas	-4 1	-3 5	-3 5						-3 5	-3 5	3 10
A. Peces y crustáceos	-2 4	-2 4	-2 4	-2 4					-4 6	-4 6	3 10
B. Pájaros (Aves)	-2 4			-2 4					-4 6	-4 6	
C. Barreras					-6 3	-6 3			-3 6	-3 6	
A. Vistas panorámicas y paisajes	-1 5	-1 5	-3 5		-4 6	-4 6	-4 6		-1 8	2 5	
B. Naturaleza	-2 5	-2 5	-3 5		-4 6	-4 6	-4 6		-3 6	-2 7	4 8
C. Espacios abiertos	-2 5			-4 5		-4 8					3 6
D. Pesca	-2 7	-2 7	-3 7						1 7	3 10	3 10
A. Salud y seguridad				-4 7	-1 2	-1 2			-3 5		-2 8
B. Empleo					3 8	3 8			2 6		-2 8
C. Densidad de población					3 4	3 4			2 5		-2 8
A. Estructuras					-3 8				6		-2 6
B. Red de transportes						2 7			3 7		-2 8
C. Red de servicios					2 8	2 8	2 8		-2 6	-1 5	4 8

Fig. 21. Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. (C) denota Transporte. (Adaptación López, considerando únicamente los campos en los que tiene influencia el proyecto).

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA O PRESUPUESTO

El proyecto finaliza con una evaluación económica aproximada del mismo, con el fin de determinar si el proyecto es rentable. Para ello se tendrá en cuenta todos los costes y beneficios asociados al desarrollo del proceso productivo. Este estudio permitirá evaluar la posibilidad de continuar con el proyecto o, en su defecto, si debe ser rechazado.

5.1. ESTIMACIÓN DE COSTES

La estimación de costes consiste en la identificación de todos y cada uno de los elementos que tendrán un coste dentro del proyecto, materiales, recursos humanos, servicios, equipos, sistemas, transportes, etc., en otras palabras, todos los recursos que se necesitarán para llevar a cabo todas las actividades que se han identificado y que generarán un coste al proyecto.

Se comenzará calculando los costes de los equipos utilizados en este proyecto mediante las gráficas de estimación de costes (Peters *et al.*, 2003).

En algunos casos, la gráfica de estimación de costes no tiene en cuenta el material de fabricación del equipo, entonces se utilizará la ecuación [22] en combinación con la tabla XLVI presente en el apéndice C (Díaz, 2012).

$$CE'_{YY} = CE_{YY} \cdot (1 + FI) \quad [22]$$

donde:

CE'_{YY} es el coste del equipo modificado en función del material con el que está fabricado en el año de referencia;

CE_{YY} es el coste del equipo en el año de referencia;

FI es el factor de tipo del material.

Algunas gráficas de estimación de costes de los equipos no tienen en cuenta el coste de instalación de los mismos. Entonces, a partir del coste base de cada equipo, se estima un factor módulo, FM , de forma que puede realizarse el cálculo del coste del equipo instalado, mediante la ecuación [23]:

$$CEI_{YY} = CE'_{YY} \cdot FM \quad [23]$$

donde:

CEI_{YY} es el coste del equipo instalado en el año de referencia;

CE'_{XX} es el coste del equipo teniendo en cuenta el material en el año de referencia;

FM es el factor módulo. Toma valores desde 1 hasta 3 (Díaz, 2012, p. 476).

El factor módulo, FM , de cada equipo se va a calcular a través de la tabla XLVII del apéndice C.

Estos costes son sólo válidos para el año en que han sido calculados, porque los precios pueden cambiar considerablemente como consecuencia de cambios en condiciones económicas. Para actualizar el dato del coste ha de utilizarse un índice de costes (Peters *et al.*, 2003), incluido en la ecuación [24]:

$$CEI_{XX} = CEI_{YY} \cdot \left(\frac{f_{XX}}{f_{YY}} \right) \quad [24]$$

donde:

CEI_{XX} es el coste del equipo actualizado una vez instalado;

CEI_{YY} es el coste del equipo instalado en el año de referencia;

f_{XX} es el índice de costes del año actual;

f_{YY} es el índice de costes del año de referencia.

Existen diferentes índices de costes de equipos como el *Marshall & Swift* o el *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI) (Díaz, 2012, p. 477).

Para este proyecto se va a utilizar el índice CEPCI. Para el índice de costes actual se recurre al índice de costes de mayo de 2017 ($f_{17} = 567.3$), mientras que el índice de costes del año de referencia dependerá del año para el que ha sido estimado, generalmente 2002 ($f_{02} = 390.4$) (Chemical Engineering, 2017). Los valores del índice de costes para los años de referencia se encuentran en la tabla XLVIII del apéndice C.

Para la realización de una correcta estimación de la inversión es necesario separar los costes en directos e indirectos.

Los costes directos son aquellos proporcionales al volumen de producción, tales como equipos, instalación eléctrica, infraestructuras o redes de tuberías. En el apéndice C se describe el procedimiento detallado para el cálculo de todos los costes de este apartado. Estos costes se han calculado mediante las ecuaciones [22], [23] y [24].

Por el contrario, los costes indirectos son aquellos gastos necesarios para la ejecución material del proceso pero que no son proporcionales a la cantidad de producto fabricada, como es el caso de aquellos costes relacionados con el ámbito jurídico o de ingeniería.

En las siguientes tablas se muestran los costes de adquisición e instalación de los equipos principales y auxiliares.

Tabla XIV. Coste total de adquisición e instalación de los tanques de almacenamiento presentes en la planta.

Tanque	CE_{02} (\$)	CE'_{02} (\$)	CEI_{02} (\$)	CEI_{17} (\$)
Productos reacción	15000	30000	39000	56651
Eluyente (H_2O)	6000	12000	15600	22660
LBA	5000	10000	13000	18883
S	4000	8000	10400	15107
$L + F + H_2O$	16000	32000	41600	60428
TOTAL	46000	92000	173732	173732

Tabla XV. Coste total de adquisición e instalación de los equipos principales presentes en la planta.

Equipo	CE_{02}^* (\$)	CE'_{02}^* (\$)	CEI_{17} (\$)
SMB 1	18000	36000	52294
SMB 2	18000	36000	52294
TOTAL	36000	72000	104588

donde:

CE_{02}^* es el precio estimado de la Fig. 28, que en este caso, incluye el coste de la instalación en el año 2002.

CE'_{02}^* es el coste de instalación teniendo en cuenta el tipo de material de fabricación en el año 2002.

A parte de los equipos principales y tanques de almacenamiento, también se debe calcular el coste de las bombas necesarias para la impulsión de los fluidos, véase tabla XVI.

Tabla XVI. Coste total de adquisición e instalación de las bombas centrífugas presentes en la planta.

Bomba	CE_{02} (\$)	CE'_{02} (\$)	CEI_{02} (\$)	CEI_{17} (\$)
B1	1900	4560	6384	9273
B2	1000	2400	3360	4880
B3	2000	4800	6720	9761
TOTAL	5700	11760	16464	23915

5.2. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN

Existen diferentes métodos para estimar la inversión a realizar en un proyecto. La elección de los mismos depende de la calidad de información disponible y de la precisión de la estimación realizada. En este proyecto se va a utilizar el tercer método, “*Percentage of Delivered-Equipment Cost*” (Peters et al., 2003, p.250).

Aplicando este método, la fórmula para la estimación de los costes consiste en la multiplicación del precio del equipo una vez suministrado a la planta, es decir, con envío incluido, por diferentes porcentajes para representar los costes de tuberías, sistemas eléctricos. Instrumentos, edificios, etc... La expresión es de la forma:

$$CT = \sum (CEE + f_1 \cdot CEE + f_2 \cdot CEE + f_3 \cdot CEE + \dots + f_n \cdot CEE) \quad [25]$$

donde:

CT es el coste total

CEE es el coste de adquisición de los equipos suministrados

$f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$, porcentajes para el coste de tuberías, sistemas eléctricos, costes directos e indirectos, etc...

Los porcentajes para realizar la estimación de la inversión se representan en la tabla LXI, presente en el apéndice C.

No se utilizan los costes de instalación porque se está evaluando la planta en su totalidad.

Además, se asume un 10 % del precio de compra del equipo en concepto de envío para calcular los precios de los equipos ya suministrados (Peters et al., 2003, p. 244).

En la tabla XVII se muestran los precios de los equipos en euros teniendo en cuenta el coste de envío, según el cambio de divisa del día 24 de mayo de 2018: 1 \$ = 0.85 €.

Tabla XVII. Coste de los equipos presentes en el proceso, teniendo en cuenta el precio de envío y el cambio de divisa.

Equipo	Nº Equipos	CE'_{17} (\$)	CEE_{17} (€)
Columna 1	1	52294	44449
Columna 2	1	52294	44449
Productos reacción	3	130735	111124
Eluyente (H_2O)	1	17431	14816
LBA	1	14526	12347
S	1	11620	9877
$L + F + H_2O$	3	139450	118533
B1	1	6624	5630
B2	1	3486	2963
B3	1	6972	5926
TOTAL		435435	370119

donde:

CE'_{17} es el coste modificado según el tipo de material actualizado al año 2017 en \$;

CEE_{17} es el coste actualizado y cambiado a €.

El precio total de las columnas de adsorción, tanques de almacenamiento y bombas de impulsión de líquidos es:

$$CEE_{17} = 370119 \text{ €}$$

En este valor no se han considerado las tuberías porque en la tabla de referencia para la estimación de la inversión ya hay un porcentaje destinado para ellas.

En la tabla XVIII y XVIIX se recogen los costes directos e indirectos, respectivamente, calculados a partir de la tabla LXI, considerando que se trata de una planta de tratamiento de sólidos y de fluidos.

Tabla XVIII. Costes directos calculados a partir del coste de compra y suministro total de los equipos.

Costes directos	PEDC (%)	CEE₁₇ (€)
Coste equipos entregados	100	370119
Coste de instalación	39	144346
Instrumentación y control	26	96231
Tuberías (instaladas)	31	114737
Sistemas eléctricos (instalados)	10	37011
Edificios (Servicios incluidos)	29	107334
Mejoras	12	44414
Instalaciones de servicios (instalados)	55	203565
TOTAL		1 117 762

donde PEDC denota “Percentage of Delivered_Equipment Cost”, obtenido de la tabla LXI.

Tabla XVIX. Costes indirectos calculados a partir del coste de compra y suministro total de los equipos.

Costes indirectos	PEDC (%)	CEE₁₇ (€)
Ingeniería y supervisión	32	118438
Gastos de construcción	34	125840
Gastos legales	4	14804
Honorarios del contratista	19	70322
Emergencias	37	136944
TOTAL		466351

La inversión de capital fijo (FCI) es la suma de los costes directos e indirectos. Para obtener la inversión de capital total es necesario añadirle el capital circulante.

En la tabla XX se muestra la inversión de capital total necesaria para la puesta en marcha del proyecto.

Tabla XX. Inversión de capital total necesaria para la puesta en marcha del proyecto.

	PEDC (%)	CEE ₁₇ (€)
Inversión en capital fijo (FCI)		1584113
Capital circulante	75	277589
TOTAL		1861703

5.3. COSTES DE OPERACIÓN

Los costes de operación son aquellos costes anuales asociados al funcionamiento normal de la planta.

Los principales gastos de operación serán: aquellos debidos a los productos utilizados como materias primas; y aquellos asociados a la mano de obra, a los servicios de agua y al gasto eléctrico.

5.3.1. Costes de producción.

5.3.1.1. Coste de las materias primas

Como materias primas no se contempla la disolución de partida puesto que proviene de la etapa de reacción. Los diferentes compuestos que la componen se obtuvieron de un proceso anterior con el objetivo de aprovechar el lactosuero que se obtiene como subproducto en la industria láctea.

5.3.1.2. Coste de servicios

En el coste de los servicios se considera el precio del agua de disolución, de la electricidad, y el precio de la mano de obra. Se utilizan los precios recogidos en la tabla LXII presente en el apéndice C. Es necesario pasarlo a la divisa correspondiente (€), además de actualizar el valor al año actual, mediante la ecuación [24].

El coste de la electricidad consumida por las bombas se calcula a partir de la potencia calculada en el apartado de diseño de equipos auxiliares. El coste de la electricidad calculado se muestra en la tabla XXI.

Tabla XXI. Coste de la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta.

Servicio	Coste unitario (€/kW·h)	Consumo (kWh/año)	Coste (€/año)	CSE ₁₇ (€)
Electricidad	0.038	588.45	22.50	32.69

El coste del agua calculado se muestra en la tabla XXII.

Tabla XXII. Coste del agua necesaria para el funcionamiento de la planta.

Servicio	Coste unitario (€/1000 kg)	Consumo (kg/año)	Coste (€/año)	CSE ₁₇ (€)
Agua	0.068	148000	10064	14619

Finalmente, se calcula el coste de la mano de obra teniendo en cuenta la cantidad de personal necesario para llevar a cabo cada una de las operaciones.

Para el cálculo del coste del personal al año, se acude al Convenio Colectivo de la Industria Química, en el que aparece el salario mínimo de los trabajadores en función de su categoría profesional. Se ha decidido que para el correcto funcionamiento de la planta, es necesaria la presencia de, al menos, cuatro operarios por turno, cuya función será verificar el correcto comportamiento de las columnas de adsorción ante la separación. Además, se deberá contar con un ingeniero de planta y un técnico por turno.

En el caso de los operarios y el técnico, el trabajo se organizará en tres turnos, y debe haber un turno relevo, por lo que en total ascienden a cuatro. En el caso de los ingenieros de planta, se trabaja a dos turnos y habrá que tener en cuenta el turno relevo, por lo que ascenderán a tres turnos en total. Los costes del personal aparecen calculados en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Coste de la mano de obra necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Trabajadores/turno	Número total	€/(año trabajador)	Coste (€/año)	CMO ₁₇ (€)
4 operarios	(4)·(4 turnos)=16	13347 (grupo 2)	213552	310208
1 técnico	(1)·(4 turnos)=4	16092 (grupo 4)	64368	93501
1 ingeniero	(1)·(3 turnos)=3	26071 (grupo 7)	78215	113613
TOTAL			356147	517323

5.4. INGRESOS POR VENTAS

Los ingresos por venta directa son difíciles de estimar en este caso, debido a que sólo se ha realizado el diseño de la etapa de separación de la planta. Por lo que el precio final del producto dependerá del grado de pureza que se consiga en la etapa de concentración y purificación del proyecto.

Se va a suponer que al final de todas las etapas del proceso (incluida la etapa de reacción de un proyecto previo y la etapa de concentración de productos de un proyecto sucesivo) los productos finales son ácido lactobiónico y sorbitol en estado sólido con una pureza del 98 %.

Al no encontrar un precio por unidad de masa fiable del ácido lactobiónico a escala industrial, se va a considerar que el precio de venta del ácido lactobiónico al final de este proyecto es de 5 €/kg. Se sabe que el sorbitol es más barato, pero tampoco se tienen datos fiables de su valor, por tanto, se va a suponer que el precio de venta final del sorbitol va a ser 2 €/kg.

El precio de venta de los productos se recogen en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Precio de venta de los productos obtenidos en la planta (Alonso, 2013b; Alibaba).

Producto	Precio (€/kg)	Cantidad (kg/año)	Precio (€/año)	BP ₁₇ (€)
Ácido lactobiónico	5	234713	1173566	1704737
Sorbitol	2	114478	228956	332584
TOTAL			1 402 522	2 037 321

5.5. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD

Como último estudio se realizará una evaluación de la rentabilidad del proyecto. Para ponerlo en práctica se recurre a los dos indicadores de rentabilidad económica financiera de un proyecto: el VAN y el TIR.

El Valor Actual Neto (VAN) se trata de la suma del valor actualizado de todos los pagos y cobros que se prevén hacer (Díaz, 2012, p.481). Para ello es necesario hacer uso de la siguiente ecuación [26]:

$$VAN = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad [26]$$

donde:

t es el periodo de tiempo. Se va a considerar una evaluación anual de 10 años de duración, por tanto, el período toma valores desde 1 hasta 10 en este caso;

FC_t es el flujo neto de caja para un período de 1 año, €;

r es la tasa de actualización de capital, %. Se asume una tasa del 9 % al tratarse de un producto alimenticio o para consumo humano (WACC Expert, 2017).

Es necesaria la realización de los flujos de caja desde la puesta en marcha de la planta ($t=0$) hasta el décimo año ($t=10$). Para realizar dicho cálculo se sigue el procedimiento recogido en la Fig. 22.

Ventas

- Coste de las ventas
- Gastos generales

= Margen operativo bruto (BAAIT)

- Amortización (*)

= Beneficio antes de impuestos e intereses (BAII)

- Impuestos (30 %)

= Beneficio neto

- + Amortización (*)

- Inversión en A. fijos

- Inversión en NOF (**)

= FCL

Fig. 22. Esquema de las operaciones necesarias para el cálculo del flujo neto de caja libre del proyecto (Roqueñí, 2016).

El cálculo de los flujos de caja netos para 10 años se recoge en la tabla LXVIII del apéndice C. A partir de esos cálculos se puede calcular el VAN en este período de tiempo.

El criterio utilizado para saber si el proyecto es rentable o no es el siguiente:

- Si el VAN es negativo, se rechaza el proyecto
- Si el VAN es cero, el proyecto es indiferente
- Si el VAN es positivo, se acepta el proyecto

Aplicando la ecuación [26], se obtiene un valor del VAN de 5 116 056 €. Como es positivo, el proyecto se acepta para el coste del capital de 9 %.

Cuando el flujo de caja acumulado es igual a cero, la inversión inicial ya ha sido recuperada, este tiempo es el periodo de retorno, ver Fig. 23.

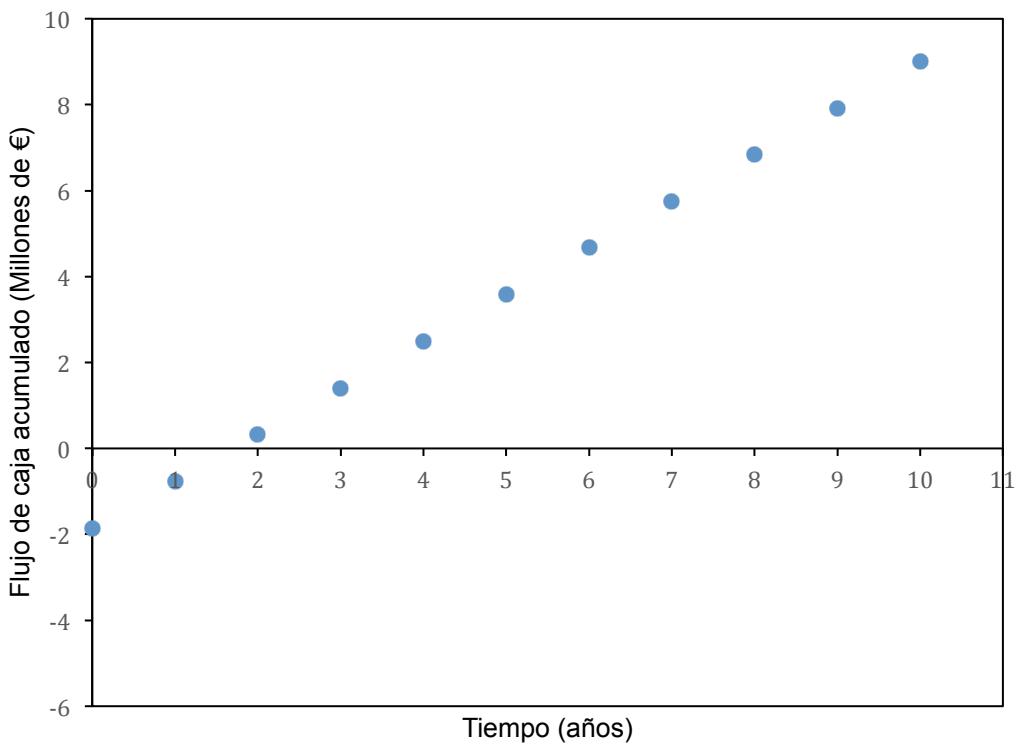


Fig. 23. Representación del VAN frente a un periodo de tiempo de 10 años.

El periodo de retorno del proyecto es de 1.9 años, es decir, al cabo de 1.9 años la inversión inicial ya habrá sido recuperada.

A continuación, se procederá a calcular la tasa interna de retorno o de rentabilidad (TIR). El TIR es el coste del capital para $VAN=0$, es decir:

$$VAN = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad [27]$$

Aplicando la ecuación [27], el valor del TIR obtenido fue de un %.

Para saber si el proyecto es rentable económicoamente se debe comparar el TIR obtenido con r y según sea el resultado se actúa de las siguientes maneras:

- Si el TIR es menor que la tasa de rentabilidad, se rechaza el proyecto.
- Si el TIR es igual que r , el proyecto es indiferente.
- Si el TIR es mayor que r , se aprueba el proyecto.

Teniendo en cuenta el criterio utilizado, como el valor obtenido del TIR es mayor que el coste del capital fijado previamente, el proyecto es viable. El TIR obtenido para nuestro proyecto es del 80 %. A partir de la Fig. 24, puede observarse también, cómo a partir de un coste del capital mayor del 80 % el proyecto no sería rentable.

En la Fig. 24, se representa la evolución del VAN frente al coste del capital.

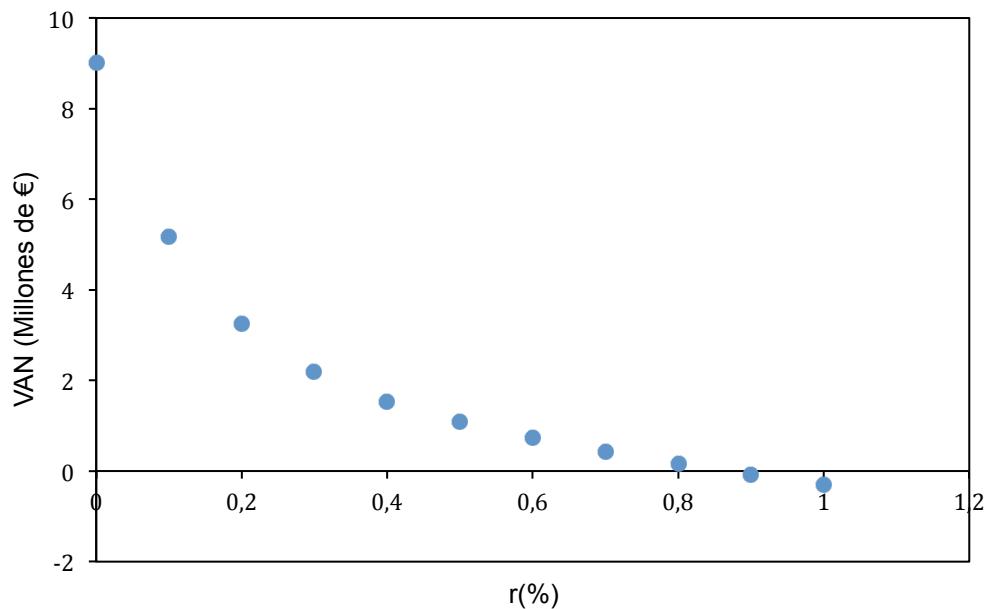


Fig. 24. Análisis de rentabilidad mediante la representación del VAN frente a la tasa de rentabilidad, r.

6. DIAGRAMAS DE FLUJO

6.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO

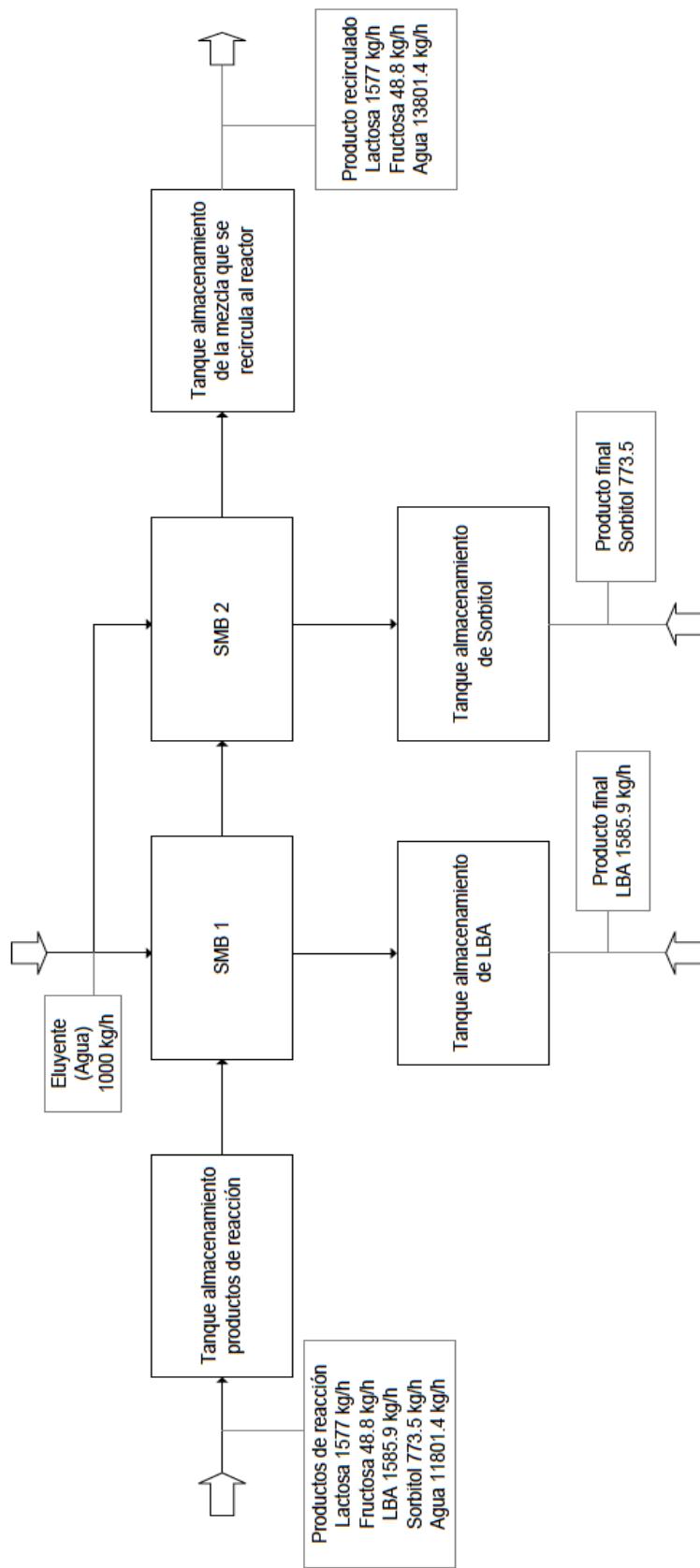


Fig. 25. Diagrama de bloques realizado de acuerdo a la normativa europea ISO 10628-2.

6.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

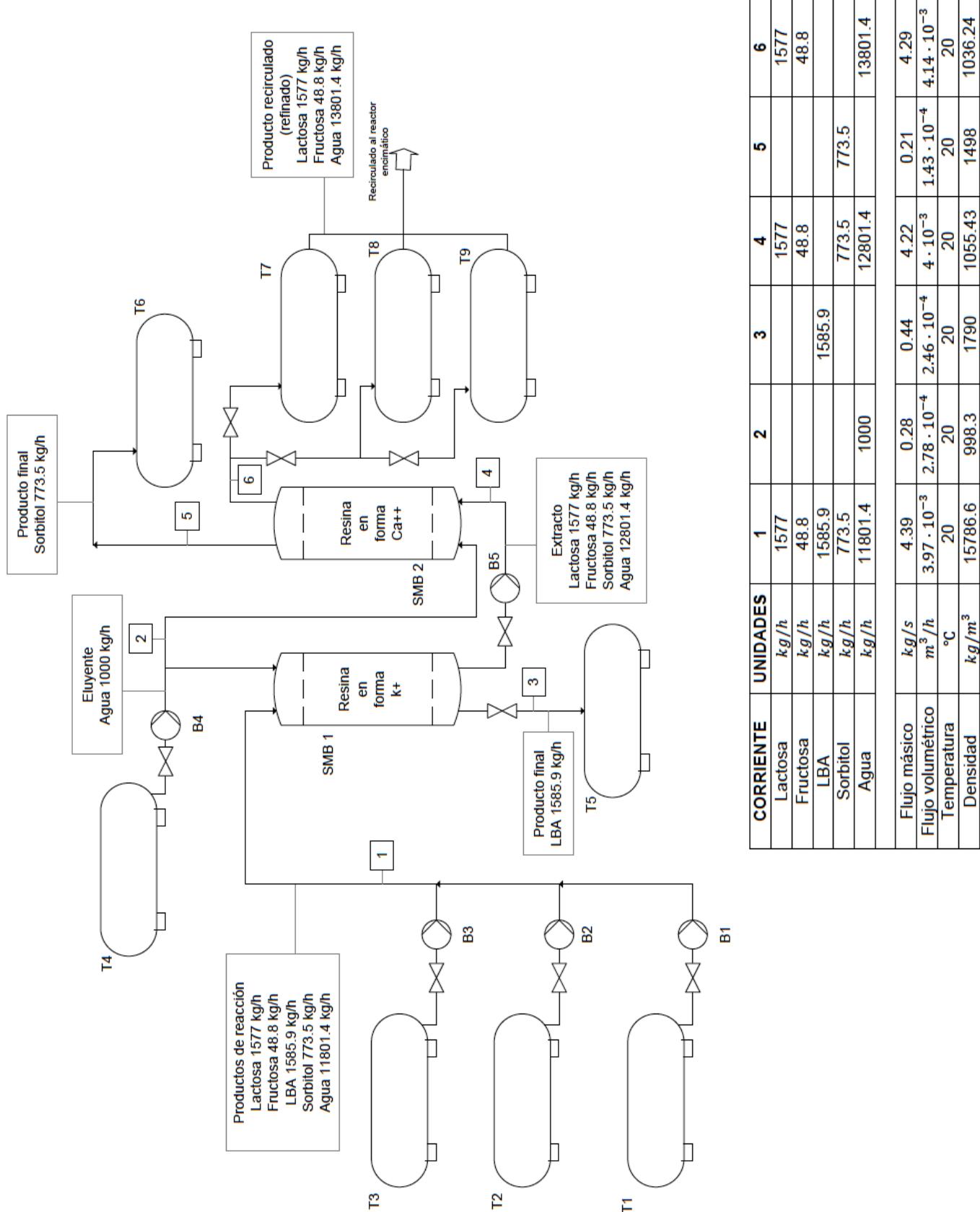


Fig. 26. Diagrama de flujo realizado de acuerdo a la normativa europea ISO 10628-2.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOFARMA. Lactosa. *Fichas de información técnica.* Disponible en:
<http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/4024-1d39500d2a956dd4a444a610e5175f00882ad96a/main/files/Lactosa.pdf>

AGENCIA TRIBUTARIA, 2015. *Tabla de coeficientes de amortización lineal* [consulta 26 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_Empresas_y_profesionales/Empresas/Impuesto_sobre_Sociedades/Periodos_impositivos_a_partir_de_1_1_2015/Base_imponible/Amortizacion/Tabla_de_coeficientes_de_amortizacion_lineal.shtml

AGILERA, J.A., 2009. Riesgo eléctrico en los riesgos laborales [consulta: 16 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/riesgo-electrico-en-los-riesgos-laborales/>

ALFA AESAR, 2014. *Ficha de datos de seguridad del ácido lactobiónico.* Disponible en: <https://www.alfa.com/es/content/msds/spanish/J66368.pdf>

ALIBABA. Global Trade. [consulta 24 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/>

ALONSO, S., RENDUELES, M. y DÍAZ, M., 2013. *Bio-production of lactobionic acid: Current status, applications and future prospects.* Biotechnology Advances, **31**, 1275-1291.

ALONSO, S. T., 2013b. Obtención de ácidos orgánicos por fermentación de subproductos lácteos. *Tesis doctoral*, pp. 16.

ANDERSSON, J. y MATTIASSEN, B., 2006. Simulated moving bed technology with a simplified approach for protein purification. Separation of lactoperoxidase and lactoferrin from whey protein concentrate. *J. Chromatogr. A*, **1107**, 88-95.

ANTON PAR, 2009. *Density Measurement in Dairy Industry.* Edited by: JEK/JUG [consulta: 10 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/riesgo-electrico-en-los-riesgos-laborales/>

ATCC. Safety Data and Product Sheet *Zymomonas mobilis* subsp. *Mobilis* (ATCC23191). Disponible en: https://www.atcc.org/Products/All/29191.aspx?geo_country=eu#documentation

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY (AIU), s.f. *Seguridad e higiene industrial. Seguridad en las operaciones.* [consulta: 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://cursos.aiu.edu/SEGURIDAD%20E%20HIGIENE%20INDUSTRIAL/3/Sesion%203.pdf>

BENLLOCH, M.C. y Y. UREÑA, 2014. *Conceptos básicos sobre seguridad y salud en el trabajo: Marco normativo básico en materia de prevención de riesgos laborales: derechos y deberes básicos en esta materia.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.invassat.gva.es/documents/161660384/161741761/BENLLOCH+LOPEZ++Mari+Cruz%3B%20URE%D1A+URE%D1A++Yolanda++2014+.+Marco+normativo+basico+en+materia+de+prevencion+de+riesgos+laborales++derechos+y+deberes+basicos+en+esta+materia/9338dcf6-ea3e-40f8-acd4-8c18fed61ca2>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 1992. *Documento consolidado BOE-A-1992-17363.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-17363>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 1995. *Documento consolidado BOE-A-1995-24292.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1995/BOE-A-1995-24292-consolidado.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 1996. *Documento consolidado BOE-A-1996-2468.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1996-2468>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2002. *BOE 157 A23910-23927.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2002/07/02/pdfs/A23910-23927.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2004. *Documento consolidado BOE-A-2004-21216.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2004/BOE-A-2004-21216-consolidado.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2007. *BOE 225 A43229-43250.* [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/24/pdfs/A43229-43250.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2008. *BOE* 23 A04986-05000. [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2008/01/26/pdfs/A04986-05000.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2011. *BOE* 23 A04986-05000. [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2015. *BOE-A-2015-9304*. [consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/08/19/pdfs/BOE-A-2015-9304.pdf>

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE), 2016. *Disposición 3728 BOE* 93. [consulta: 14 de mayo de 2018].

Disponible en: http://www.agroalimentaria.ccoo.es/comunes/recursos/21/doc276049_TABLA_S_SALARIALES_2015-2016_CONVENIO_COLECTIVO_DE_INDUSTRIAS_LACTEAS_Y_SUS_DERIVADOS.pdf

BORGES DA SILVA, E. A., PEDRUZZI, I. y RODRIGUES, A. E., 2011. Simulated moving bed technology to improve the yield of the biotechnological production of lactobionic acid and sorbitol. *Adsorption*, **17**, 145 – 158.

BORGES DA SILVA, E.A., ULSON DE SOUZA, A.A., DE SOUZA, S.G.U. y RODRÍGUES, A.E., 2006. Analysis of the high-fructose syrup production using reactive SMB technology. *Chemical Engineering Journal*, **118**(3), 167-181.

CALLEJA, G., GARCÍA, F., LUCAS, A., PRATS, D., RODRÍGUEZ, J.M., 1999. *Introducción a la Ingeniería Química*. Madrid: Editorial Síntesis, S.A.

CALLEJAS, H. J., PRIETO, G.F., REYES, C.V.E., MARMOLEJO, S.Y., y MÉNDEZ, M.M.A., 2012. Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, **22**(1), 11 – 18.

CHEMICAL ENGINEERING, 2017. Economic Indicators. *Chemical Engineering*, Septiembre 2017, pp.104.

CHERESOURCES, s.f. *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*. [consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.chereresources.com/invision/topic/21446-chemical-engineering-plant-cost-index-cepci/page-5>

CHIN, C. Y. y WANG, N. H. L., 2004. Simulated moving bed equipment designs. *Separation and Purification Reviews*, **33**, 77-155.

CINCODÍAS, 2017. Cotizaciones divisas, Dólares a Euros. El País. [consulta: 15 de mayo de 2018]. Disponible en: https://cincodias.elpais.com/mercados/divisas/eurosxdolares_usa/41/

DÍAZ, M., 2012. *Ingeniería de Bioprocesos*. 1^a edición. Madrid: Paraninfo.

EMUASA, 2017. Tarifas especiales de agua. Tarifa Industrial [consulta: 20 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.emuasa.es/tarifas2017/Tarifa_industrial.pdf

EUROSTAT, 2017. Production of cheese. [consulta: 15 octubre]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=ag00040>.

FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE TRABAJADORES DE LA ENSEÑANZA UNIÓN GENERAL DE TRABAJADORES (FETE.UGT), s.f. *Riesgos de incendio – Riesgos laborales*. [consulta: 21 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://riesgosalabores.feteugt-sma.es/portal-preventivo/riesgos-laborales/riesgos-relacionados-con-la-seguridad-en-el-trabajo/riesgos-de-incendios/>

FERRAZ, H.; SEVERO JUNIOR, J. y ALVES., T., 2014. Removal of lactobionic acid by electrodialysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **31**, 70-100.

GARCÍA, C.A.C.; MONTIEL, R.L.A y T.F BORDERAS, 2014. Grasa y proteína de la leche de vaca: Componentes, síntesis y modificación. *Archivos de zootecnia*, **63**(R) 85-105.

GÄNZLE, M.G., HAASE, G., y JELEN, P., 2008. Lactose: curistallization, hydrolysis and value-added derivates. *International Dairy Journal*, **18**, 685-694.

GUÍA 2000, 2011. *Diagrama de Moody*. [consulta: 4 de abril de 2018]. Disponible en: <https://fisica.laguia2000.com/wp-content/uploads/2011/08/Moody3.jpg>

GUTIÉRREZ, L. *et al.*, 2012. Lactobionic acid: A high value – added lactose derivative for food and pharmaceutical applications. *International Dairy Journal*, **26**, 103 – 111.

HERNÁNDEZ, R.M. y VÉLEZ, R.J.F., 2014. Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, **8**(2) 13 – 22.

HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL, 2010. Riesgos Mecánicos. [consulta: 17 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://seguridadconstructiva.blogspot.de/2010/01/riesgos-mecanicos.html>

HUTHMANN, E. y JUZA, M., 2005. Less common applications of simulated moving bed chromatography in the pharmaceutical industry. *J. Chromatogr. A*, **1092**, 24-35.

ILLANES, A., 2011. Whey upgranding by enzyme biocatalysis. *Electronic Journal of Biotechnology*, **14**(6), 1 – 28.

ILLANES, A., 2016. Lactose: Production and Upgrading. *Lactose-Derived Prebiotics: A Process Perspective*, pp.1-33.

ILLANES, A. y C. GUERRERO, 2016. Functional Foods and Feeds: Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. *Lactose-Derived Prebiotics: A Process Perspective*, pp.35-86.

INSTITUTO DE DESARROLLO ECONÓMICO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (IDEPA), 2017. El sector alimentación y bebidas en Asturias [en línea] [consulta: 6 marzo 2017]. Disponible en: http://www.investinasturias.es/wp-content/uploads/2015/07/Alimentacion-y-bebidas_ES_2016.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), 2012. *Normativa española relevante sobre seguridad y salud en el trabajo*. [consulta: 5 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.ceoearagon.es/prevencion.nsf/ca2825460c423b3ac125715e00574b7e/5af892b62153541dc1257826004c213f/\\$FILE/legislaci%F3n%20espa%F1ola%202012.pdf](http://www.ceoearagon.es/prevencion.nsf/ca2825460c423b3ac125715e00574b7e/5af892b62153541dc1257826004c213f/$FILE/legislaci%F3n%20espa%F1ola%202012.pdf)

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), 2014. *Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico. Real decreto 614/2001, de 8 de junio* [consulta: 5 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g_electr.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (INSHT), 2017. [consulta: 5 de mayo de 2018].

Disponible en: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.32fa381e28b6c8a6b5c6b9c350c08a0c/?vgnnextoid=25d44a7f8a651110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>

KELLER II, G.E., ANDERSON, R.A. y YON, C.M., 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. New Jersey: John Wiley y Sons: 1048.

KRECZMANN, B.; ALONSO, A.; LILOIA, M.; ZAMBONI, E.; CERRUTI, R.; BARONI, D. y POLUJAN, D., 2015. Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, **87**, 44-49.

LANCHAS, L. y GALÁN, S., 2008. Sistemas de control de plantas químicas en situaciones de emergencia. ASLab, R-2008-b01. Disponible en: <http://tierra.aslab.upm.es/documents/controlled/ASLAB-R-2008-011.pdf>

LEHNINGER, A.; NELSON, D. y COX, M., 2005. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 4^a edición.

LÓPEZ, L.A., s.f. *Evaluación de Impacto ambiental*. [consulta: 18 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.lopezbarbosa.net/cursos/legislaci%F3n-ambiental/evaluaci%F3n-de-impacto-ambiental/>

MAYPER S.A., s.f. *Tanques Cisterna Horizontales de PRFV*. [consulta: 7 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.mayper.com.ar/agro/tanques-horizontales/tanques-cisterna-horizontales-de-prfv>

MCCABE, W. L., SMITH, J. C. y HARRIOT, P., 1991. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4^a edición. Madrid: McGraw – Hill.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C. y HARRIOT, P., 2002. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 6^a edición. México: McGraw – Hill..

MCCABE, W. L., SMITH, J. C. y HARRIOT, P., 2007. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7^a edición. México: McGraw – Hill.

MCCOY, M, 2000. Chiral business. *Chemical and Engineering News*, **78**, 17-25.

MENACHO, J., POU, O., SERRA, E., NOMEN, R., TOMÁS, X. y SEMPERE J., 2011. Un método de simulación para columnas de adsorción, en Poch et al. (Ed.), *Actas del 10º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos*, Girona: UdG.

MENACHO, J., POU, O., SERRA, E., NOMEN, R., TOMÁS, X. y SEMPERE J., 2011, Un método para la simulación numérica de columnas de adsorción, *Afinidad* **552**, 6-15.

MERCK, 2015. Ficha de datos de seguridad.

Lactosa, disponible en:

http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-ES-Site/es_ES-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-107660&Origin=PDP

Fructosa, disponible en:

http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-ES-Site/es_ES-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-104007&Origin=PDP

Sorbitol, disponible en:

http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-ES-Site/es_ES-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=EMD_BIO-56755&Origin=PDP

MINCEVA, M. y RODRÍGUEZ, A.E., 2002. Modeling and Simulation of a Simulated Moving Bed for the Separation of p-Xylene. *Ind. Eng. Chem. Res.* **41**, 3454-3461.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (MAPAMA), 2016. *Enciclopedia de los Alimentos. Queso. Cultivos iniciadores*. [consulta: 27 de marzo de 2017]. Disponible en: http://www.alimentacion.es/es/conoce_lo_que_comes/bloques/queso/default/el-queso/cultivos-iniciadores/

NICOUD, R.M. y MAJORS, R.E., 2000. Simulates Moving Bed Chromatography for Preparative Separations. *LC-GC Europe*, **18**(7), 887-891.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), 2015. *La leche en cifras* [consulta: 6 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/273897/>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA CULTURA (FAO), 2017. *Producción y productos lácteos: Calidad y Evaluación*. [consulta: 6 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/en/#.WLWkSeWKS00>

ORGANIZACIÓN INTERPROFESIONAL LÁCTEA (INLAC), 2015. *La leche como vehículo de salud para la población*. Editado por: Fundación Española de Nutrición (FEN) y Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT) [consulta: 6 marzo 2017]. Disponible en: https://www.inlac.es/admin/uploads/files/id_18122821_el_valor_de_la_leche_fundacion_esp_anola_nutricion.pdf

ORGANIZACIÓN INTERPROFESIONAL LÁCTEA (INLAC), 2016. *El sector lácteo en España: Informe de producción industria y consumo (2008-2015)*. [consulta: 6 marzo 2017]. Disponible en: http://www.inlac.es/admin/uploads/files/id_20173418_Informesocioeconomicoinlac20.09.16.pdf

PANESAR, P.S.; KENNEDY, J.F.; GANDHI, D.N. y K. BUNKO, 2007. Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, **105**, 1-14.

PARRA, R.A., 2009. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, **62**(1), 4967-4982.

PEDRUZZI, I., BORGES DA SILVA, E. A. y RODRIGUES, A.E., 2008. Selection of resins, equilibrium and sorption kinetics of lactobionic acid, fructose, lactose and sorbitol. *Separation and Purification Technology*, **63**, 600 – 611.

PEDRUZZI, I., BORGES DA SILVA, E. A. y RODRIGUES, A.E., 2011. Production of lactobionic acid and sorbitol from lactose/fructose substrate using GFOR/GL enzymes from Zymomonas mobilis: A kinetic study. *Enzyme and Microbial Technology*, **49**, 183 – 191.

PÉREZ, J., s.f. Factores de riesgo eléctricos. Prevención de riesgos laborales en centros docentes. [consulta: 8 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.prevenciondocente.com/accidelectr.htm>

PERRY, R. H., GREEN, D. W, Y MALONEY, L. O., 1984. *Perry's Chemical Engineers'Handbook*. 7^a edición. Nueva York: McGraw – Hill, pp. 11-27.

PETERS, M.; TIMMERHAUS, K. y WEST, R., 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 5^a edición. McGraw – Hill.

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE PROPIEDAD INDUSTRIAL (IBEPI), 2013. *Boletín tecnológico: Nuevas tecnologías en derivados*. Editado por J. Cruz Camacho [consulta 6 marzo 2017] Disponible en: http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/1.1Boletin_derivados_lacteos_31dic.pdf

ROQUEÑÍ, N., 2016. Diseño de procesos químicos y gestión de proyectos: Viabilidad económica de proyectos. Área de proyectos de Ingeniería.

ROUSSEAU, R.W., 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons: 1048.

SANTAMARÍA, J.M. y BRAÑA, P.A., 1994. Análisis y reducción de riesgos en la industria química. 1^a edición. Madrid: Mapfre.

SCHAAFSMA, G., 2008. Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International Dairy Journal*, **18**, 458-465.

SILVEIRA, M. M. y JONAS, R., 2002. The biotechnological production of sorbitol. *Applied Microbiology Biotechnology*, **59**, 400 – 408.

SUBRAMANIAN, G., 2001. Chiral Separation Techniques: A Practical Approach. Alemania: Wiley-VCH.

TAYLOR, L. T., 2009. Supercritical fluid chromatography for the 21st century. *Journal of Supercritical Fluids*, **47**, 566-573.

TOXNET (toxicology data Network).

Lactosa, disponible en:

<https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+7962>

Fructosa, disponible en:

<https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+526>

Sorbitol, disponible en:

<https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+801>

TREYBAL, R. E., 1980. *Operaciones de transferencia de masa*. 2^a edición. México: Mc – Graw Hill.

UNIVERSIDAD CARLOS TERCERO MADRID, (UC3M), s.f. *Prevención de riesgos laborales. Manual riesgos mecánicos*. [consulta: 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/laboratorios/prevencion_riesgos_laborales/manual/riesgos_mecanicos

UNVIERSIDAD DE CANTABRIA (UNICAN), s.f. *Equipos de protección personal. Real dEcreto 773/1997 de 30 de mayo*. [consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://personales.gestion.unican.es/martinji/Archivos/EProtIndividual.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (UNICEN), s.f. *Higiene y seguridad industrial. Riesgo de incendio*. [consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/Laura/material/Riesgo%20de%20Incendio.pdf>

VAXASOFTWARE. Densidad del agua líquida entre 0 y 100 °C . Disponible en: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf
Viscosidad dinámica del agua líquida entre 0 y 100 °C . Disponible en: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf

WALAS, S.M., 1988. *Chemical process Equipment: Selection and Desing*. 1st ed. Wobum: Butterworth-Heinemann.

NOTA: Las referencias que carecen de fecha especificada se han denominado como “sin fecha”, (s.f.) de acuerdo a la norma UNE-ISO 690.

APÉNDICES

A. PROPIEDADES

Tabla XXV. Propiedades del agua líquida en función de la temperatura (Díaz, 2012; Vaxasoftware).

Temperatura (°C)	ρ (kg/m^3)	μ ($kg/m \cdot s$)
15	999.2	0.001139
20	998.3	0.001003
25	997.1	0.000891
30	995.0	0.000666

Tabla XXVI. Propiedades de los compuestos utilizados durante el proceso (TXNET; EPA; Vaxasoftware).

Compuesto	Peso Molecular	ρ (kg/m^3)
Lactosa	342.30	1525
Fructosa	180.16	1700
LBA	358.30	1790
Sorbitol	182.17	1498

B. LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Tabla XXVII. Representación de los símbolos utilizados (Díaz, 2012).

Símbolo	Definición	Unidades
A	Área	m^2
C_A	Concentración del componente A	kg/m^3
CE	Coste de equipo	\$ o €
CE'	Coste de equipo según el tipo de material	\$ o €
CEE	Coste de equipo entregado	\$ o €
CEI	Coste de equipo instalado	\$ o €
CMO	Coste de la mano de obra	\$ o €
\hat{c}_p	Calor específico mísico (a P constante)	$J/(g \cdot K)$
CSE	Coste entregado de servicios	\$ o €
CT	Coste total de equipos	\$ o €
D_t	Diámetro del tanque	m
D_{opt}	Diámetro óptimo	m
D_P	Diámetro de partícula	m
e_v	Pérdida de carga debido a la fricción en los accesorios	-
E_v	Pérdida de carga debido a la fricción	-
f	Factor de fricción de Fanning	-
f_D	Factor de fricción de Darcy	-
FI	Factor de instalación	-
FM	Factor de material	-
f_{xx}	Índice de costes	
\hat{G}	Caudal mísico en estado gas	kg/s
g	Aceleración de la gravedad	m/s^2
h	Altura	m
H	Altura del tanque	m
L	Longitud	m
L_e	Longitud equivalente	m
\hat{L}	Caudal mísico en estado líquido	kg/s
\check{L}	Caudal volumétrico en estado líquido	m^3/s
m	Masa	kg

Símbolo	Definición	Unidades
P	Presión	atm
$PEDC$	Porcentaje del coste de los equipos entregados	%
P_m	Peso molecular	g/mol
q	Concentración de saturación	kg/kg
r	Tasa de actualización del capital	%
R_H	Radio hidráulico	m
S	Sección o superficie	m^2
\hat{S}	Caudal másico de sólidos	kg/s
t	Tiempo	s
T	Temperatura	$^\circ C$
V	Volumen	m^3
v	Velocidad	m/s
v_{opt}	Velocidad óptima	
$\langle v \rangle$	Velocidad media de la sección	m/s
v^*	Velocidad superficial	m/s
W	Masa del lecho	m
\hat{W}_s	Potencia de la bomba por unidad de flujo másico	m^2/s^2
W_p	Potencia de la bomba	
α	Factor de corrección de energía cinética	-
ε	Rugosidad	-
ε/D	Rugosidad relativa	-
η	Eficacia	-
μ	Viscosidad	$kg/(m \cdot s)$
ρ	Densidad	kg/m^3
ρ_s	Densidad de la resina	kg/m^3
Δh	Diferencia de alturas	m
ΔP	Diferencia de presión	Pa o bar

Tabla XXVIII. Representación de las abreviaturas utilizadas (Díaz, 2012).

Abreviatura	Definición
BAIIT	Margen operativo bruto
BAII	Beneficio antes de impuestos e intereses
BN	Beneficio neto
CEPCI	Chemical Engineering Plant Cost Index
F	Fructosa
FCL	Flujo libre de caja
L	Lactosa
LBA	Ácido Lactobiónico
MB	Margen operativo bruto
NOF	Necesidades operativas de fondos
Re	Número de Reynolds
S	Sorbitol
TCI	Inversión en capital total
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

C. CÁLCULOS

C.1. DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN

C.1.1. Determinación del volumen

Se va a suponer que la adsorción ocurre de manera instantánea e irreversible y que no se produce dispersión axial, de modo que se pueda aplicar la siguiente fórmula (Díaz, 2012):

$$\check{L}_T \cdot C_A \cdot t = W \cdot q \quad [1]$$

donde:

\check{L} es el caudal volumétrico del líquido a tratar, m^3/s ;

C_A es la concentración del componente que se va a separar, kg/m^3 ;

t es el tiempo, s;

W es la masa del lecho, kg;

q es la concentración de saturación, kg/kg .

Se puede relacionar el peso del lecho con el volumen del mismo mediante la siguiente expresión:

$$W = \rho_s \cdot V$$

donde:

W es la masa del lecho, kg;

ρ_s es la densidad de la resina, kg/m^3 ;

V es el volumen del lecho, m^3 .

Lo primero que se debe estimar para determinar el volumen de la columna será la cantidad de líquido a tratar en el proceso. El caudal volumétrico del líquido a tratar se calculará como el cociente entre el caudal másico y la densidad de dicha disolución.

Para ello, hay que tener en cuenta el caudal másico de la disolución almacenada en el tanque de almacenamiento de los productos de reacción. Según los estudios encontrados, este caudal sería 15786.6 kg/h .

Además, se debe tener en cuenta el caudal másico del eluyente (agua) empleado para llevar a cabo la separación. Esta cantidad se desconoce, por lo que se va a suponer un caudal volumétrico de 1000 kg/h .

De esta forma, se conoce que la cantidad de líquido a tratar en el proceso será:

$$\begin{aligned} \hat{L}_T &= 1585.9 \frac{kg}{h} \text{ de LBA} + 773.5 \frac{kg}{h} \text{ de S} + 1577 \frac{kg}{h} \text{ de L} + 48.8 \frac{kg}{h} \text{ de F} + 11801.4 \frac{kg}{h} \text{ de agua} \\ &\quad + 1000 \frac{kg}{h} \text{ de agua (eluyente)} = 16786.6 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

La densidad a 20 °C de la disolución formada por la solución almacenada en el tanque de los productos de reacción, más el agua (eluyente) utilizado para llevar a cabo la separación, se calculará a través de la ecuación [2]:

$$(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}} = \frac{m_T}{\frac{m_L}{\rho_L} + \frac{m_F}{\rho_F} + \frac{m_{agua}}{(\rho_{agua})_{20^\circ\text{C}}} + \frac{m_{LBA}}{\rho_{LBA}} + \frac{m_S}{\rho_S}} \quad [2]$$

donde:

m_T es la masa total de la mezcla, kg;

m_L es la masa de lactosa, kg, y ρ_L es la densidad de lactosa, kg/m^3 ;

m_F es la masa de fructosa, kg, y ρ_F es la densidad de fructosa, kg/m^3 ;

m_{agua} es la masa de agua, kg, y ρ_{agua} es la densidad de agua a 20 °C, kg/m^3 ;

m_{LBA} es la masa de LBA, kg, y ρ_{LBA} es la densidad de LBA, kg/m^3 ;

m_S es la masa de sorbitol, kg, y ρ_S es la densidad de S, kg/m^3 ;

Las composiciones de los compuestos que entran a la primera columna de adsorción se recogen en la tabla III.

Tabla III. Composición de los compuestos que entran a la primera columna de adsorción.

Compuesto	Caudal másico (kg/h)
Ácido lactobiónico	1585.9
Sorbitol	773.5
Lactosa	1577.0
Fructosa	48.8
Agua	12801.4
TOTAL	16786.6

Todas las densidades necesarias para el diseño del proceso se calcularán utilizando la ecuación [2]. En la tabla del Apéndice A se recogen las densidades de todos los compuestos presentes en la disoluciones.

La densidad a 20 °C de la disolución a tratar será:

$$(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}} = \frac{16786.6}{\frac{1577.0}{1525} + \frac{48.8}{1700} + \frac{12801.4}{998.3} + \frac{1585.9}{1780} + \frac{773.5}{1498}} = 1098 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto, el caudal volumétrico del líquido a tratar en la primera columna sería:

$$\hat{L}_T = \frac{\hat{L}_T}{(\rho_{dlon})_{20^\circ\text{C}}} = \frac{16786.6 \text{ kg/h}}{1098 \text{ kg/m}^3} = 15.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando las dos corrientes SMB en cascada para la mezcla dada, la corriente de extracto de la primera unidad de SMB está conectada a la corriente de alimentación de la segunda unidad, por lo que no hay acumulación en el proceso.

En esta operación el tiempo de conmutación se elige 8 h.

La composición del ácido lactobiónico para alimentar a la primera unidad SMB es establecida a partir de los resultados de la cinética enzimática (1585.9 kg/h). El volumen de la disolución será 15.3 m³. Por tanto, haciendo el cociente entre la composición de LBA a la salida del reactor enzimático y el volumen de salida, se calculará la concentración de ácido lactobiónico:

$$C_A = \frac{m_{LBA}}{V_{dlón}} = \frac{1585.9 \text{ kg de LBA}}{15.3 \text{ m}^3 \text{ dlón}} = 103.73 \text{ kg/m}^3 \text{ de LBA}$$

La determinación de la concentración de saturación se debe hacer de manera experimental. Como no se han encontrado valores, se va a utilizar la aproximación establecida por Nobre *et al.*, 2011.:

$$q = 2 \frac{\text{kg LBA}}{\text{kg resina K}^+}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación [1], se estima el volumen de la primera columna de adsorción:

$$V = \frac{\check{L}_T \cdot C_A \cdot t}{\rho_s \cdot q} = \frac{15.3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 103.73 \frac{\text{kg LBA}}{\text{m}^3} \cdot 8\text{h}}{970 \frac{\text{kg resina K}^+}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{kg LBA}}{\text{kg resina K}^+}} = 6.54 \text{ m}^3$$

Para estimar el volumen de la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Ahora el caudal másico que entra al segundo lecho sería el caudal másico que sale del primero una vez que se ha separado el ácido lactobiónico. Pero, también hay que tener en cuenta el eluyente utilizado para llevar a cabo la segunda separación. Se ha vuelto a suponer 1000 kg/h de eluyente (agua). De esta forma, el caudal másico que se tiene para esta segunda columna será:

$$\begin{aligned} \hat{L}_T &= 773.5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de } S + 1577 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de } L + 48.8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de } F + 12801.4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de agua} \\ &\quad + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de agua (eluyente)} = 16200.7 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

La densidad de la disolución a 20 °C se calculará aplicando la ecuación [2], pero sin el ácido lactobiónico que ya a sido separado. Dicha densidad será:

$$(\rho_{dlon})_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{16200.7}{\frac{1577.0}{1525} + \frac{48.8}{1700} + \frac{13801.4}{998.3} + \frac{773.5}{1498}} = 1051.7 \text{ kg/m}^3$$

Las composiciones de los compuestos que entran a la segunda columna de adsorción se recogen en la tabla IV.

Tabla IV. Composición de los compuestos que entran a la segunda columna de adsorción.

Comuesto	Caudal másico (kg/h)
Sorbitol	773.5
Lactosa	1577.0
Fructosa	48.8
Agua	13801.4
TOTAL	16200.7

Por tanto, el caudal volumétrico del líquido a tratar en la segunda columna sería:

$$\check{L}_T = \frac{\hat{L}_T}{(\rho_{dlon})_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}} = \frac{16200,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ dlón}}{1051,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ dlón}} = 15.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

En esta operación el tiempo de conmutación vuelve a ser de 8 h.

La concentración del componente a separar, en este caso el sorbitol (S), será el cociente entre la cantidad de sorbitol que sale de la primera columna y el volumen de la disolución, siendo este en este caso, 15.4 m³. De forma que la concentración de sorbitol toma el siguiente valor:

$$C_A = \frac{m_S}{V_{dlón}} = \frac{773.5 \text{ kg de S}}{15.4 \text{ m}^3 \text{ dlón}} = 50.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de S}$$

La concentración de saturación vuelve a ser la misma que se supuso en el apartado anterior:

$$q = 2 \frac{\text{kg S}}{\text{kg resina Ca}^{2+}}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación [1] se estima el volumen de la segunda columna de adsorción:

$$V = \frac{\check{L}_T \cdot C_A \cdot t}{\rho_s \cdot q} = \frac{15.4 \frac{m^3}{h} \cdot 50.21 \frac{kg}{m^3} \cdot 8 h}{1550 \frac{kg}{m^3} \cdot 2 \frac{kg}{kg \text{ resina } Ca^{2+}}} = 2 m^3$$

C.1.2. Determinación de la superficie y del diámetro de la columna

El cálculo de la superficie de la columna se puede realizar a partir de la velocidad superficial mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$v^* = \frac{\check{L}}{s} \quad [3]$$

donde:

v^* es la velocidad superficial, m/s;

\check{L} es el caudal volumétrico de líquido a tratar, m^3/min ;

s es la superficie, m^2 .

Se va a considerar que la velocidad superficial en una columna de adsorción es $v^* \approx 5 \cdot 10^{-3} m/s$ (Díaz, 2012).

Sustituyendo los datos en la ecuación [3] se obtiene la superficie de la primera columna:

$$s = \frac{\check{L}}{v^*} = \frac{15.3 \frac{m^3}{h}}{5 \cdot 10^{-3} m/s} = 0.85 m^2$$

Atendiendo que la columna presenta un diseño cilíndrico, se puede determinar que la superficie de la base será:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [4]$$

Despejando la ecuación [4], se obtiene el diámetro de la primera columna:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.85 m^2}{\pi}} = 1.04 m$$

Para el diseño de la columna es necesario aplicar un factor de seguridad, estimado en un 15 %, de modo que los valores reales de diseño serán los recogidos en la tabla V:

$$S = 0.85 \cdot (1 + 0.15) = 0.98 m^2$$

$$D = 1.04 \cdot (1 + 0.15) = 1.20 m$$

Tabla V. Diámetro y área calculados aplicando el factor de seguridad para la primera columna de adsorción.

Parámetro	Valor teórico
S (m^2)	0.98
D (m)	1.20

Para la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Aplicando la ecuación [3], la superficie de la segunda columna de adsorción será:

$$s = \frac{\check{L}}{\nu *} = \frac{15.4 \frac{m^3}{h}}{5 \cdot 10^{-3} m/s} = 0.86 m^2$$

Despejando el diámetro de la ecuación [4], se obtendrá para la segunda columna:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.86 m^2}{\pi}} = 1.04 m$$

Aplicando el factor de seguridad acordado anteriormente, los valores reales de diseño serán los recogidos en la tabla VI:

$$D = 1.04 \cdot (1 + 0.15) = 1.20 m$$

$$S = 0.86 \cdot (1 + 0.15) = 0.98 m^2$$

Tabla VI. Diámetro y área calculados aplicando el factor de seguridad para la segunda columna de adsorción.

Parámetro	Valor teórico
D (m)	1.20
S (m^2)	0.98

C.1.3. Determinación de la altura de la columna

Considerando la columna como un cuerpo cilíndrico:

$$V = S \cdot h \quad [5]$$

donde:

V es el volumen de la columna de adsorción, m^3 ;

S es la superficie, m^2 ;

h es la altura de la columna, m.

Aplicando la ecuación [5] se determina la altura de la primera columna:

$$h = \frac{V}{s} = \frac{6.54 \text{ m}^3}{0.98 \text{ m}^2} = 6.70 \text{ m}$$

Para la segunda columna se aplica la misma ecuación y se obtiene una altura de:

$$h = \frac{V}{s} = \frac{2 \text{ m}^3}{0.98 \text{ m}^2} = 2.03 \text{ m}$$

C.1.4. Determinación de la caída de presión de la columna

Para calcular la caída de presión en el sistema se debe conocer el tipo de flujo con el que se está operando. Para ello, se determina el Reynolds de partícula para columnas:

$$Re_p = \frac{D_p \cdot v^* \cdot \rho}{\mu} \quad [6]$$

donde:

Re_p , el Reynolds de partícula, adimensional;

D_p , el diámetro de partícula, m;

v^* , velocidad superficial, m/s;

ρ , densidad, kg/m³;

μ , viscosidad del fluido, kg/(m · s).

La primera columna está rellena con resina en forma de potasio (65 μm de tamaño medio de partícula).

Aplicando la ecuación [6] se obtiene, $Re_p = 0.27$, de forma que se confirma la suposición inicial y el régimen de flujo es laminar.

Para regímenes laminares de flujo se puede emplear la fórmula de Blake-Kozeny:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot v^* \cdot \mu}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3} \quad [7]$$

donde:

$\frac{\Delta P}{L}$, caída de presión por longitud, Pa/m;

ε , porosidad, adimensional;

v^* , velocidad superficial, m/s;

μ , viscosidad, kg/(m · s);

D_p , diámetro de partícula, m.

Los valores típicos de porosidad para columnas de relleno se estiman entre valores de 0.4 y 0.5. Por lo que para los siguientes cálculos, se ha tomado un valor de $\varepsilon = 0.45$.

Aplicando la ecuación [7] se obtiene:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot (1 - 0.45)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \cdot 0.001003 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}}{(65 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \cdot (0.45)^3} = 8.26 \cdot 10^5 \text{ Pa/m}$$

Sabiendo que la altura de la primera columna de adsorción es 6.70 m, se determina la caída de presión de la primera columna de adsorción:

$$\Delta P = \Delta P \cdot L = 5.91 \cdot 10^5 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \cdot 6.70 \text{ m} = 3.96 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{0.00001 \text{ Pa}} = 39,57 \text{ bar}$$

Para la segunda columna de adsorción se seguiría un procedimiento análogo al anterior.

Esta columna está rellena con resina en forma de calcio (75 μm de tamaño medio de partícula).

Aplicando la ecuación [6] se obtiene, $Re_p = 0.37$, de forma que se confirma la suposición inicial y el régimen de flujo es laminar.

Aplicando la ecuación [7] se obtiene

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot (1 - 0.45)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \cdot 0.001003 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}}{(75 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \cdot (0.45)^3} = 4.44 \cdot 10^5 \text{ Pa/m}$$

Sabiendo que la altura de la segunda columna de adsorción es 2.03 m, se determina la caída de presión de la segunda columna de adsorción:

$$\Delta P = \Delta P \cdot L = 4.44 \cdot 10^5 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \cdot 2.03 \text{ m} = 9 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{0.00001 \text{ Pa}} = 9 \text{ bar}$$

C.2. DISEÑO DE TUBERÍAS

En el diseño de tuberías, uno de los aspectos claves es la velocidad que alcanza el fluido en su interior.

C.2.1. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción

La carga de los productos de reacción a la primera columna de adsorción se realiza mediante una única tubería, en la que se introducen la lactosa y fructosa que no reaccionaron en la etapa de reacción, junto con el ácido lactobiónico, el sorbitol y el agua obtenidos en el reactor enzimático. Para realizar los cálculos se utiliza la ecuación [8].

$$V_{opt} = 10.74 \frac{\hat{L}^{0.1}}{\rho^{0.36}} \quad [8]$$

El caudal mísico de esta disolución es:

$$\hat{L}_{productos\ reacción} = 15786.6 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 4.39\ kg/s$$

Por tanto, la velocidad óptima será:

$$V_{opt} = 10.74 \cdot \frac{\left(\frac{4.39\ kg}{s}\right)^{0.1}}{\left(1105.00 \frac{kg}{m^3}\right)^{0.36}} = 1.00\ m/s$$

El diámetro óptimo de tubería se calcula mediante la ecuación [9] y será:

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot \hat{L}}{\pi \cdot \rho \cdot v_{opt}}} \quad [9]$$

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4.39 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot 1105.00 \frac{kg}{m^3} \cdot 1.00 \frac{m}{s}}} = 0.071\ m$$

A partir del diámetro se seleccionará la tubería que más se ajuste a las características calculadas, mediante la tabla XXIX.

$$D_{opt} = 0.071\ m \cdot \frac{1\ in}{0.0254\ m} = 2.80\ in$$

Tabla XXIX. Tamaños nominales de tubería y sus características (McCabe *et al.*, 2002).

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in. ²	Área de la sección interior, ft ²	Circunferencia, ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Aqua, lb/h	
$\frac{1}{8}$	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
$\frac{1}{4}$	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
$\frac{3}{8}$	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
$\frac{1}{2}$	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
$\frac{3}{4}$	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1 345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1 120	2.17
$1\frac{1}{4}$	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2 285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1 995	3.00
$1\frac{1}{2}$	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3 170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2 745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5 225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4 600	5.02
$2\frac{1}{2}$	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7 460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6 600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11 500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10 275	10.25
$3\frac{1}{2}$	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15 400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13 850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19 800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17 900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31 150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28 850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45 000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40 550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77 850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71 150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123 000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111 700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174 500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158 350	88.57

'Basados en ANSI B36. 10-1959, con autorización de ASME.

Por lo que se seleccionará una tubería de: D= 3 in.

Finalmente, como el diámetro de tubería es mayor que el óptimo, es necesario recalcular la velocidad a la que circula el fluido por el interior de la tubería. Para ello se emplea la ecuación [10].

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{\frac{\hat{L}}{\rho}}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad [10]$$

$$v = \frac{\frac{4.39 \frac{kg}{s}}{1105.00 \frac{kg}{m^3}}}{\pi \cdot \frac{(3 \text{ in} \cdot \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}})^2}{4}} = 0.87 \frac{m}{s}$$

En la tabla XXX se recogen todos los parámetros de diseño de la tubería obtenidos.

Tabla XXX. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
Productos reacción	4.39	1105.00	1.00	2.80	3	0.87

C.2.2. Tramo de tubería desde la bifurcación del tanque de almacenamiento del eluyente hasta la primera columna de adsorción

El eluyente utilizado en esta operación es agua. No se tienen datos del caudal másico, por tanto, se va a suponer que será 1000 kg/h.

$$\hat{L}_{eluyente} = 1000 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0.28 \text{ kg/s}$$

El resto de los cálculos se realizan de manera análoga al apartado anterior obteniéndose los resultados presentados en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la primera columna de adsorción.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
Eluyente (agua)	0.28	998.30	0.79	0.84	1	0.55

C.2.3. Tramo de tubería desde la primera columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA)

El caudal másico que circula por la línea de almacenamiento del ácido lactobiónico es:

$$\hat{L}_{LBA} = 1585.9 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0.44 \text{ kg/s}$$

Los cálculos para esta conducción se han realizado de manera análoga a los anteriores y se representan en la tabla XXXII.

Tabla XXXII. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la primera columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
LBA	0.44	1790.00	0.67	0.85	1	0.49

C.2.4. Tramo de tubería desde la primera columna hasta la segunda columna de adsorción

La primera columna de adsorción consigue separar completamente el ácido lactobiónico del resto de la mezcla, por tanto a la segunda columna se introduce la mezcla compuesta por lactosa, fructosa, sorbitol y agua. Hay que tener en cuenta el eluyente (agua) introducido para llevar a cabo la separación de la primera columna de adsorción. De forma que el caudal másico este tramo de tubería será:

$$\begin{aligned}\hat{L}_{dlon \sin LBA} &= 773.5 \frac{kg}{h} \text{ de } S + 1577.0 \frac{kg}{h} \text{ de } L + 48.8 \frac{kg}{h} \text{ de } F + (11801.4 + 1000) \frac{kg}{h} \text{ de } H_2O \\ &= 15200.7 \frac{kg}{h} \text{ de } dlón \sin LBA \cdot \frac{1h}{3600s} = 4.22 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Se realizan los cálculos del mismo modo que en el apartado anterior, obteniéndose los resultados presentados en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la primera columna hasta la segunda columna de adsorción.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
$L + F + S + H_2O$	4.22	1055.43	1.01	2.79	3	0.88

C.2.5. Tramo de tubería desde la bifurcación del tanque de almacenamiento del eluyente hasta la segunda columna de adsorción

Se va a suponer que el caudal másico será 1000 kg/h, al no disponer de datos de éste.

$$\hat{L}_{eluyente} = 1000 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0.28 \frac{kg}{s}$$

Los resultados obtenidos son los mismos que para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la primera columna de adsorción, y son presentados en la tabla XXXIV.

Tabla XXXIV. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la bifurcación del tramo de tubería del eluyente hasta la segunda columna de adsorción.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
Eluyente (agua)	0.28	998.30	0.79	0.84	1	0.55

C.2.6. Tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del sorbitol (S)

El caudal másico que circula por la línea de almacenamiento del sorbitol es:

$$\hat{L}_S = 773.5 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 0.21 \frac{kg}{s}$$

Los cálculos para esta conducción se han realizado de manera análoga a los anteriores y se representan en la tabla XXXV.

Tabla XXXV. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
S	0.21	1498.00	0.66	0.65	3/4	0.50

C.2.7. Tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento final

La segunda columna consigue separar completamente el sorbitol del resto de la mezcla por el extracto, por lo que por el refinado se obtiene la mezcla compuesta por lactosa, fructosa y agua que se recirculará al reactor enzimático. Hay que tener en cuenta el eluyente (agua) introducido para llevar a cabo la separación. De esta forma, el caudal másico este tramo de tubería será:

$$\begin{aligned}\hat{L}_{dlon \sin LBA y S} &= 1577.0 \frac{kg}{h} de L + 48.8 \frac{kg}{h} de F + (12801.4 + 1000) \frac{kg}{h} de H_2O \\ &= 15427.2 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 4.29 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Se hacen los cálculos de forma análoga al apartado anterior, obteniéndose los resultados presentados en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. Velocidad de circulación del fluido y diámetro de tubería para el tramo de tubería desde la segunda columna de adsorción hasta el tanque de almacenamiento final, donde se almacena la disolución formada por $L + F + H_2O$ que se recirculará al reactor enzimático.

Tubería	\hat{L} (kg/s)	ρ (kg/m ³)	v_{opt} (m/s)	D_{opt} (in)	D (in)	v (m/s)
$L + F + H_2O$	4.29	1036.24	1.02	2.83	3	0.91

C.3. DISEÑO DE BOMBAS DE IMPULSIÓN

La potencia de una bomba por unidad de flujo másico se calculará a través de la ecuación [12]:

$$\hat{W}_s = 3 \cdot g + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot \frac{L}{R_H} \cdot f + \sum \frac{1}{2} \cdot \langle v \rangle^2 \cdot e_v + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)_{otros} \quad [12]$$

C.3.1. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento de productos de reacción hasta la primera columna de adsorción

Para calcular la fricción del tramo recto de una tubería, es necesario calcular el número de Reynolds mediante la ecuación [14]. A partir de las propiedades de la disolución, presentes en el apéndice A y de las velocidades y diámetros calculados en el apartado C.2.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1105.00 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.87 \frac{m}{s} \cdot \left(3in \cdot \frac{0.0254 m}{1 in}\right)}{0.001003 \frac{kg}{m \cdot s}} = 73053$$

Por tanto, existe régimen turbulento.

Para estimar el factor de fricción de Fanning en régimen turbulento se utiliza el diagrama de Moody, presente en la Fig.19.

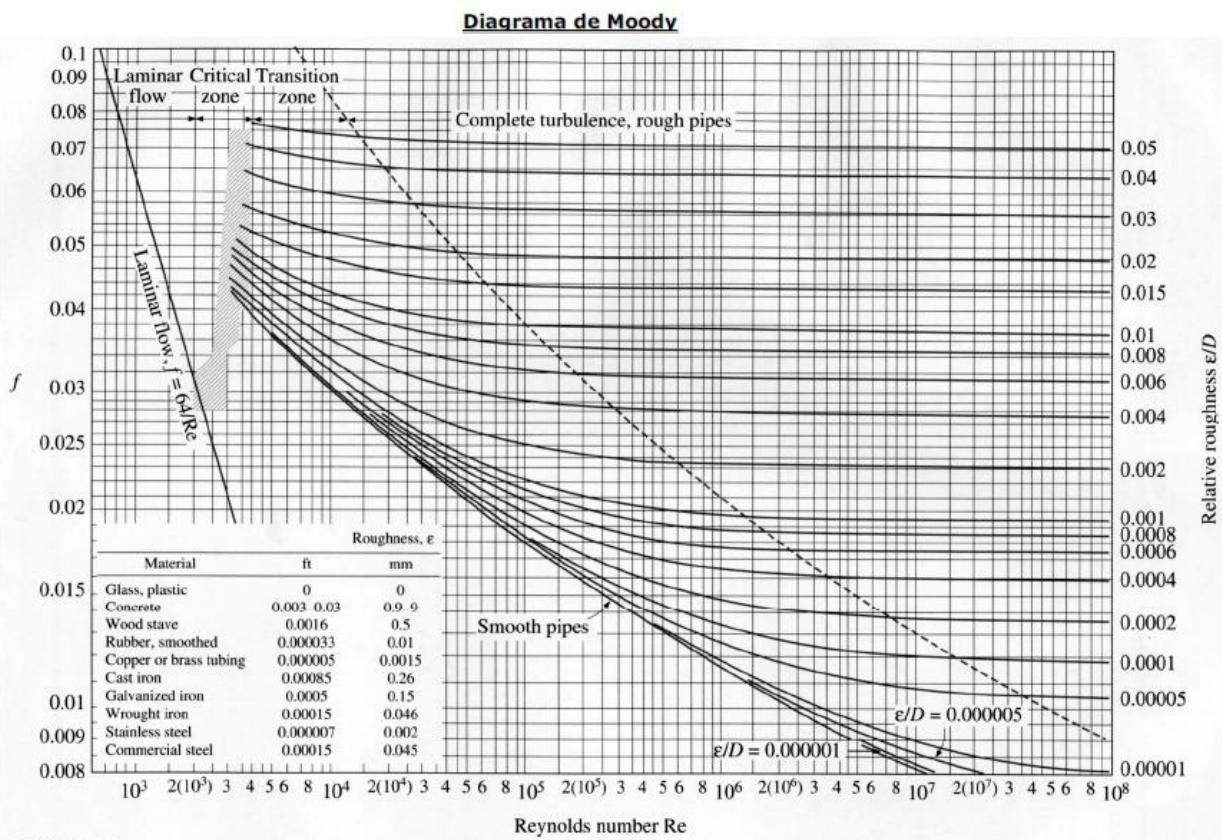


Fig.19. Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción de Fanning en función del número de Reynolds (Guía 2000, 2011).

Para utilizar esta gráfica es necesario calcular la rugosidad (ε/D), a partir de la rugosidad de la pared de la tubería de acero inoxidable (Stainless Steel, $\varepsilon = 0,002 mm$, según la leyenda del diagrama de Moody).

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.002 mm \cdot \frac{1 m}{1000 mm}}{0.0762 m} = 2.62 \cdot 10^{-5}$$

Posteriormente, el factor de fricción de Fanning se calcula a través de la Fig. 19 y será:

$$f = 0.02$$

Para el coeficiente de accesorios en tuberías, e_v , se utilizan los valores propuestos por en la tabla XXXVII.

Tabla XXXVII. Factores de pérdidas por fricción y longitudes equivalentes relativas en accesorios (Adaptación A. Valiente, 2002, p. 695).

Accesorio	e_v	L_e/D
Válvula de globo abierta	7.5	350
Válvula de ángulo abierta	3.8	170
Válvula de compuerta abierta	0.15	7
Válvula de compuerta abierta (3/4)	0.85	40
Válvula de compuerta medio abierta	4.4	200
Válvula de compuerta abierta (1/4)	20	900
Codo de 90 °	0.7	32
Codo de 90 ° corto	0.9	41
Codo de 90 ° largo	0.4	20
Codo de 45 °	0.35	15
Te salida lateral	1.5	67
Te paso derecho	0.4	20
Curvatura de 180 °	1.6	75
Válvula de retención de bola	70	3500
Válvula de retención de bisagra	2	100
Medidor de agua, disco	7	350

Para este tramo de tubería se considera que la longitud total de la tubería es de 15 m y que en la línea hay 4 codos de 90 °. Además, se considera que se coloca una bomba para que impulse por el parte inferior el fluido saliente del tanque. Ésta salida se regulará mediante una válvula de globo abierto.

De esta forma, el coeficiente de los accesorios teniendo en cuenta las suposiciones que se han realizado y utilizando los valores tabulados de la tabla XXXVII será:

$$e_v = 7.5 + 4 \cdot 0.7 = 10.3$$

El radio hidráulico se define como la sección libre para el fluido entre el perímetro mojado (Días, 2012). Es decir, para el caso de una tubería cilíndrica será la ecuación [13]:

$$R_H = \frac{\text{Sección libre para flujo}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}{\pi \cdot D} = \frac{D}{4} \quad [13]$$

$$R_H = \frac{3 \text{ in} \cdot \frac{0.0254}{1 \text{ in}}}{4} = 0.01905$$

Hay que tener en cuenta la pérdida de carga provocada por la primera columna de adsorción. Sabiendo que $\Delta P_{columna\ 1} = 3.96 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}^2}$ y que la densidad de la disolución a 20 °C es 1105 kg/m³, la pérdida de carga será:

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{columna\ 1} = \frac{3.96 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}^2}}{1105 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3.58 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Por tanto, la potencia por unidad de flujo másico de esta bomba que impulsa la disolución de todos los productos de reacción, utilizando la ecuación [12] será:

$$\begin{aligned} \hat{W}_s &= 3 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{1}{2} \cdot \left(0.87 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot \frac{15 \text{ m}}{0.01905 \text{ m}} \cdot 0.02 + \frac{1}{2} \cdot \left(0.87 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 10.3 + (3.58 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2) \\ &= 39.29 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

Una vez calculada la potencia de la bomba por unidad de flujo másico, \hat{W}_s , se calculará la potencia real de la bomba W_p mediante la ecuación [16] suponiendo una eficacia del 70 % para las bombas (Díaz, 2012).

$$W_p = \hat{W}_s \cdot \frac{\hat{L}}{\eta} \quad [16]$$

De forma que la potencia real de la bomba será:

$$\hat{W}_p = 39.29 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{4.39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.7}\right) = 246.15 \text{ W}$$

Los valores obtenidos para esta bomba se recogen en la tabla XXXVIII.

Tabla XXXVIII. Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el primer tramo de tubería.

Tubería	Re	ε/D	f	e_v	R_H	$\hat{W}_s (\text{m}^2/\text{s}^2)$	$W_p (\text{W})$
Productos de reacción	73053	$2.62 \cdot 10^{-5}$	0.02	10.3	0.01905	39.29	246.15

C.3.2. Tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la bifurcación para las columnas de adsorción

Para el tramo de tubería desde el tanque de almacenamiento del eluyente (agua) hasta la bifurcación para las columnas de adsorción, se realiza el cálculo de manera análoga al apartado anterior, suponiendo también 15 m de tubería con una válvula de globo abierta, 4 codos de 90° y una bomba centrífuga.

Los valores obtenidos se resumen en la tabla XXXVIX.

Tabla XXXVIX. Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el segundo tramo de tubería.

Tubería	Re	ε/D	f	e_v	R_H	$\widehat{W}_s (m^2/s^2)$	$W_p (W)$
Eluyente	13882	$7.85 \cdot 10^{-5}$	0.028	10.3	0.00635	40.96	16.25

Esta potencia es demasiado pequeña, pero puede ser resultado del bajo caudal con el que se trabaja en este tramo de tubería.

C.3.3. Tramo de tubería desde la primera columna hasta la primera columna hasta la segunda columna de adsorción

Para el tramo de tubería desde la primera columna hasta la segunda columna de adsorción, se realizan los cálculos de los apartados anteriores considerando también 15 m de tubería con una válvula de globo abierta, 2 codos de 90° y una bomba centrífuga.

Hay que tener en cuenta la pérdida de carga provocada por la segunda columna de adsorción. Sabiendo que $\Delta P_{columna\ 2} = 9 \cdot 10^5 \frac{kg}{m \cdot s^2}$ y que la densidad de la disolución a $20^\circ C$ es $1055.4\ kg/m^3$, la pérdida de carga será:

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{columna\ 1} = \frac{9 \cdot 10^5 \frac{kg}{m \cdot s^2}}{1055.4 \frac{kg}{m^3}} = 8.53 \cdot 10^2\ m^2/s^2$$

Los valores obtenidos se resumen en la tabla XL.

Tabla XL. Valores obtenidos del balance de energía mecánica para el tercer tramo de tubería.

Tubería	Re	ε/D	f	e_v	R_H	$\widehat{W}_s (m^2/s^2)$	$W_p (W)$
$L + F + S + H_2O$	70341	$2.62 \cdot 10^{-5}$	0.02	8.9	0.01905	38.91	234.73

C.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

C.4.1. Tanque de almacenamiento de los productos de reacción

Para calcular el volumen del tanque a utilizar se tiene en cuenta que la planta estará acoplada a la etapa de reacción.

Los productos de reacción se almacenarán en un tanque que constituirá el punto inicial de este proyecto.

Este tanque tendrá capacidad para almacenar la cantidad de productos correspondientes a una carga. De forma, que el tiempo de descarga del tanque será 8 h, que es el tiempo de operación de la columna de adsorción.

Por tanto, el volumen de líquido a almacenar será:

$$V_L = \frac{15786.6 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 8 \text{ h}}{1105.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 114.29 \text{ m}^3$$

Puesto que esta cantidad resulta un volumen demasiado grande, se divide en tres tanques del mismo volumen total, debido a que no hay diferencia significativa en el precio de un único tanque del volumen total, y tres tanques del mismo volumen. Estos tanques serán horizontales y se situarán sobre soportes de cemento tal y como indican las heurísticas (Walas, 1988). Generalmente, en los tanques de almacenamiento horizontales la dimensión longitudinal es mayor que el diámetro, en relaciones que pueden variar desde 2 a 5, tal y como se puede observar en las heurísticas y en los modelos comerciales (Mayper S.A, s.f.).

$$V_L = \frac{114.29}{3} = 38.10 \text{ m}^3$$

Se considera un factor de seguridad del 15 % y se escogerá una relación altura/diámetro:

$$H_T = 3 \cdot D_T \quad [17]$$

Por lo que el volumen del depósito será:

$$V_T = V_L \cdot (1 + 0.15) = 43.81 \text{ m}^3$$

Aplicando la ecuación [21], se calculará el diámetro del tanque:

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_T}{3 \cdot \pi}} \quad [21]$$

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 43.81}{3 \cdot \pi}} = 2.65 \text{ m}$$

Mediante la ecuación [17] se obtiene la altura de dicho tanque:

$$H_T = 3 \cdot (2.65 \text{ m}) = 7.95 \text{ m}$$

Los valores obtenidos para el tanque de productos de reacción se resumen en la tabla XLI.

Tabla XLI. Dimensionado del tanque de almacenamiento de los productos de reacción

Tanque	V_T (m^3)	D_T (m)	H_T (m)
Productos de reacción	43.81	2.65	7.95

C.4.2. Tanque de almacenamiento del eluyente (agua)

Este tanque tendrá capacidad para almacenar la cantidad de agua utilizada como eluyente correspondiente a una carga. De forma, que el tiempo de descarga del tanque será 8 h, que es el tiempo de operación de la columna de adsorción.

Por tanto, el volumen de líquido a almacenar será:

$$V_L = \frac{1000 \frac{kg}{h} \cdot 8 h}{998.3} = 8.01 m^3$$

Se considera un factor de seguridad del 15 % y se aplicará una relación altura/diámetro de 3 mediante la ecuación [17].

El volumen del depósito será:

$$V_T = V_L \cdot (1 + 0.15) = 8.01 (1 + 0.15) = 9.22 m^3$$

Las dimensiones del tanque de eluyente se calcularán de manera similar a las realizadas en el apartado anterior. Se representan en la tabla XLII.

Tabla XLII. Dimensionado del tanque de almacenamiento del eluyente (agua)

Tanque	V_T (m^3)	D_T (m)	H_T (m)
Eluyente	9.22	1.58	4.73

C.4.3. Tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA)

De la primera columna de adsorción se consigue separar el ácido lactobiónico de la mezcla formada por fructosa, lactosa, sorbitol y agua. De esta forma, el ácido lactobiónico se almacena en un tanque para su posterior tratamiento en la etapa de concentración.

El volumen del líquido a almacenar será:

$$V_L = \frac{1585.9 \frac{kg}{h} \cdot 8 h}{1790 \frac{kg}{m^3}} = 7.09 m^3$$

Se considera un factor de seguridad del 15 % y se aplicará una relación altura/diámetro de 3 mediante la ecuación [17].

El volumen del depósito será:

$$V_T = V_L \cdot (1 + 0.15) = 7.09 (1 + 0.15) = 8.15 m^3$$

Las dimensiones del tanque de LBA se calcularán de manera similar a las realizadas en los apartados anteriores. Se recogen en la tabla XLIII.

Tabla XLIII. Dimensionado del tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA).

Tanque	V_T (m^3)	D_T (m)	H_T (m)
LBA	8.15	1.51	4.54

C.4.4. Tanque de almacenamiento del sorbitol (S)

De la segunda columna de adsorción se consigue separar el sorbitol de la mezcla formada por fructosa, lactosa y agua. De esta forma, el sorbitol se almacena en un tanque para su posterior tratamiento en la etapa de concentración.

El volumen del líquido a almacenar será:

$$V_L = \frac{773.5 \frac{kg}{h} \cdot 8 h}{1498 \frac{kg}{m^3}} = 4.13 m^3$$

Se considera un factor de seguridad del 15 % y se aplicará una relación altura/diámetro de 3 mediante la ecuación [17].

El volumen del depósito será:

$$V_T = V_L \cdot (1 + 0.15) = 4.13 (1 + 0.15) = 4.75 m^3$$

Las dimensiones del tanque de sorbitol se calcularán de manera similar a las realizadas en los apartados anteriores. Se muestran en la tabla XLIV.

Tabla XLIV. Dimensionado del tanque de almacenamiento del sorbitol (S)

Tanque	V_T (m^3)	D_T (m)	H_T (m)
Sorbitol	4.75	1.26	3.79

C.4.5. Tanque de almacenamiento de la mezcla $L + F + H_2O$ que se recirculará al reactor enzimático

De la segunda columna de adsorción se consigue separar el sorbitol de la mezcla formada por fructosa, lactosa y agua. El sorbitol se obtiene por el extracto, mientras que la mezcla formada por lactosa, fructosa y agua se consigue por el refinado. Esta mezcla se va a recircular de nuevo al reactor enzimático.

El volumen del líquido a almacenar será:

$$V_L = \frac{15427.2 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 8 \text{ h}}{1036.24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 119.10 \text{ m}^3$$

Puesto que esta cantidad resulta un volumen demasiado grande, se divide en tres tanques del mismo volumen total.

$$V_L = \frac{119.10}{3} = 39.70 \text{ m}^3$$

Se considera un factor de seguridad del 15 % y se aplicará una relación altura/diámetro de 3 mediante la ecuación [17].

El volumen del depósito será:

$$V_T = V_L \cdot (1 + 0.15) = 39.70 (1 + 0.15) = 45.65 \text{ m}^3$$

Las dimensiones del tanque de la mezcla $L + F + H_2O$ se calcularán de manera similar a las realizadas en los apartados anteriores. Se representan en la tabla XLV.

Tabla XLV. Dimensionado del tanque de almacenamiento de la mezcla $L + F + H_2O$ que se recirculará al reactor enzimático.

Tanque	V_T (m^3)	D_T (m)	H_T (m)
$L + F + H_2O$	45.65	2.68	8.05

C.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se recopilan todas las tablas y figuras necesarias para llevar a cabo el estudio de la rentabilidad económica del proyecto. Las tablas y gráficas que se usaron para la obtención de los costes de los equipos del proceso se extrajeron de una única fuente (Peters et al., 2003, p.238).

Para la aplicación de la ecuación [22], son necesarios los factores del tipo de material que aparecen en la tabla XLVI.

$$CE'_{YY} = CE_{YY} \cdot (1 + FI) \quad [22]$$

En la tabla XLVI se ha intercambiado la columna de acero inoxidable 316 por la de acero al carbono ya que este último es más barato.

Tabla XLVI. Factores de tipo de material (FI) para diferentes tipos de Acero (Adaptación Díaz, 2012, p. 476).

	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 304	Acero al carbono
Recipientes verticales	2,0	1,2	1,1
Recipientes verticales	1,1	0,8	0,7
Tanques de almacenamiento	0,3	0,2	0,2
Intercambiadores de calor	1,3	0,8	0,7
Enfriadores de aire	0,8	0,4	0,4
Bombas y tuberías	1,4	0,9	0,9
Compresores y tuberías de aire	1,2	0,8	0,7

El factor módulo, FM , de cada equipo utilizado en la ecuación [23] está tabulado en la tabla XLVII.

$$CEI_{YY} = CE'_{YY} \cdot FM \quad [23]$$

Tabla XLVII. Coste de instalación de equipos (Peters *et al.*, 2003, p.244).

Type of equipment	Installation cost, %
Centrifugal separators	20–60
Compressors	30–60
Dryers	25–60
Evaporators	25–90
Filters	65–80
Heat exchangers	30–60
Mechanical crystallizers	30–60
Metal tanks	30–60
Mixers	20–40
Pumps	25–60
Towers	60–90
Vacuum crystallizers	40–70
Wood tanks	30–60

Para la actualización de los costes mediante la ecuación [24], se utilizan los índices de la tabla XLVIII.

$$CE_{XX} = CEI_{YY} \cdot \left(\frac{f_{XX}}{f_{YY}} \right) \quad [24]$$

Tabla XLVIII. Índices de costes para diferentes años (Peters *et al.*, 2003).

Year	Marshall and Swift installed-equipment indexes, 1926 = 100		Eng. News-Record construction index			Nelson-Farrar refinery construction index, 1946 = 100	Chemical Engineering plant cost index, 1957– 1959 = 100
	All industries	Process industry	1913 = 100	1949 = 100	1967 = 100		
1987	814	830	4406	956	410	1121.5	324
1988	852	859.3	4519	980	421	1164.5	343
1989	895	905.6	4615	1001	430	1195.9	355
1990	915.1	929.3	4732	1026	441	1225.7	357.6
1991	930.6	949.9	4835	1049	450	1252.9	361.3
1992	943.1	957.9	4985	1081	464	1277.3	358.2
1993	964.2	971.4	5210	1130	485	1310.8	359.2
1994	993.4	992.8	5408	1173	504	1349.7	368.1
1995	1027.5	1029.0	5471	1187	509	1392.1	381.1
1996	1039.1	1048.5	5620	1219	523	1418.9	381.7
1997	1056.8	1063.7	5825	1264	542	1449.2	386.5
1998	1061.9	1077.1	5920	1284	551	1477.6	389.5
1999	1068.3	1081.9	6060	1315	564	1497.2	390.6
2000	1089.0	1097.7	6221	1350	579	1542.7	394.1
2001	1093.9	1106.9	6342	1376	591	1579.7	394.3
2002	1102.5 [‡]	1116.9 [‡]	6490 [‡]	1408 [‡]	604 [‡]	1599.2 [‡]	390.4 ^{†,§}

C.5.1. Costes directos

C.5.1.1. Coste de tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento de líquidos necesarios se recogen en la tabla XII.

El coste de los tanques de almacenamiento, que serán horizontales, se calcula a partir de la Fig. 27.

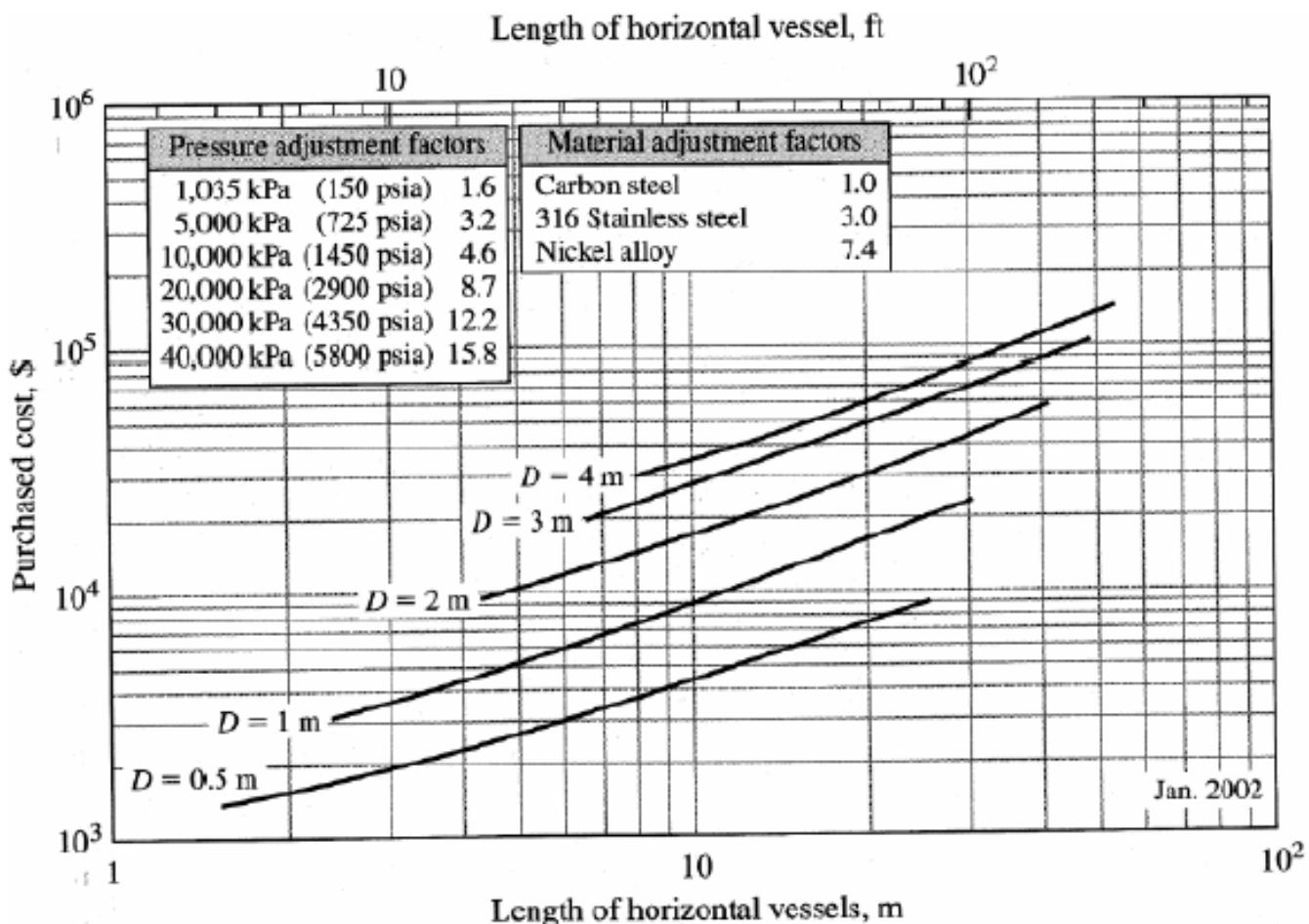


Fig. 27. Coste de adquisición de tanques de almacenamiento horizontales en el año 2002 y sin el coste de instalación (Peters et al., 2003, p.558).

- *Tanque de almacenamiento de los productos de reacción.*

Las dimensiones de los tres tanques son:

$$D_T = 2.65 \text{ m}$$

$$H_T = 7.95 \text{ m}$$

A partir de la Fig. 27, realizando la interpolación lineal correspondiente, se obtiene que el coste del tanque será:

$$CE_{02} = 15000 \text{ \$}$$

- *Tanque de almacenamiento del eluyente (agua).*

Las dimensiones del tanque son:

$$D_T = 1.58 \text{ m}$$

$$H_T = 4.73 \text{ m}$$

A partir de la Fig.27, realizando la interpolación lineal correspondiente, se obtiene que el coste del tanque será:

$$CE_{02} = 6000 \text{ \$}$$

- *Tanque de almacenamiento del ácido lactobiónico (LBA).*

Las dimensiones del tanque son:

$$D_T = 1.51 \text{ m}$$

$$H_T = 4.54 \text{ m}$$

A partir de la Fig.27, realizando la interpolación lineal correspondiente, se obtiene que el coste del tanque será:

$$CE_{02} = 5000 \text{ \$}$$

- *Tanque de almacenamiento del sobitol (S).*

Las dimensiones del tanque son:

$$D_T = 1.26 \text{ m}$$

$$H_T = 3.79 \text{ m}$$

A partir de la Fig.27, realizando la interpolación lineal correspondiente, se obtiene que el coste del tanque será:

$$CE_{02} = 4000 \text{ \$}$$

- *Tanque de almacenamiento de la disolución formada por lactosa, fructosa y agua, que se recirculará al reactor enzimático.*

Las dimensiones de los tres tanques son:

$$D_T = 2.68 \text{ m}$$

$$H_T = 8.05 \text{ m}$$

A partir de la Fig.27, realizando la interpolación lineal correspondiente, se obtiene que el coste del tanque será:

$$CE_{02} = 16000 \text{ \$}$$

Los resultados obtenidos para los tanques de almacenamiento de líquidos se recogen en la tabla XLIX.

Tabla XLIX. Coste de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso.

Tanque	D_T (m)	H_T (m)	CE_{02} (\$)
Productos reacción	2.65	7.95	15000
Eluyente	1.58	4.73	6000
LBA	1.51	4.54	5000
Sorbitol	1.26	3.79	4000
$L + F + H_2O$	2.68	8.05	16000
TOTAL			46000

La gráfica de estimación de costes de la Fig. 27 no tiene en cuenta el material de fabricación del equipo, entonces los costes de los tanques de almacenamiento que se tratan en este apartado tienen que ser adaptados al material utilizado mediante la ecuación [22]. FI , para tanques de almacenamiento, tomará un valor de 2 tal y como se muestra en la tabla XLVI.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla L.

Tabla L. Coste de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso dependiendo del tipo de material.

Tanque	CE_{02} (\$)	CE'_{02} (\$)
Productos reacción	15000	30000
Eluyente	6000	12000
LBA	5000	10000
Sorbitol	4000	8000
$L + F + H_2O$	16000	32000
TOTAL	46000	92000

La gráfica de estimación de costes de la Fig.27, tampoco tiene en cuenta el coste de instalación de los tanques de almacenamiento. El coste de los tanques instalados se determina mediante la ecuación [23].

En la tabla XLVII se observa que FM que toma un valor entre el 30 – 60 % para tanques. Se va a suponer un 30 % de coste de instalación para los tanques de almacenamiento, de forma que al coste anterior hay que sumarle un 30 % de instalación. Por tanto la ecuación [23] queda de la siguiente forma:

$$CEI_{YY} = CE'_{YY} \cdot 1.3$$

Los costes de los tanques de almacenamiento una vez instalados se recogen en la tabla LI.

Tabla LI. Coste actualizado de los tanques de almacenamiento una vez instalados.

Tanque	CE'_{02} (\$)	CEI_{02} (\$)
Productos reacción	30000	39000
Eluyente	12000	15600
LBA	10000	13000
Sorbitol	8000	10400
$L + F + H_2O$	32000	41600
TOTAL	92000	119600

Los costes de los tanques de almacenamiento que se tratan en este apartado tienen que ser adaptados al índice de costes actual mediante la ecuación [24]. En la tabla XLVIII, se observa como el índice de costes para el año 2002 (año de referencia) es $f_{02} = 390.4$. El índice de costes actual se consulta en el CEPCI del 2017 (*Chemical Engineering Plant Cost Index*), y se obtiene un valor para Junio de 2017 de $f_{17} = 567.1$ como se puede ver en la tabla LII.

$$CEI_{17} = CEI_{02} \cdot \left(\frac{f_{17}}{f_{02}} \right)$$

$$CEI_{17} = CEI_{02} \cdot \left(\frac{567.1}{390.4} \right)$$

donde CEI_{02} es el coste estimado anteriormente mediante la Fig.27. teniendo en cuenta el tipo de material y el coste de instalación.

Tabla LII. Índice de costes CEPCI para Junio de 2017.

CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)			
(1957-59 = 100)	June '17 Prelim.	May '17 Final	June '16 Final
CE Index	567.1	567.3	540.9
Equipment	684.5	684.6	645.3
Heat exchangers & tanks	603.4	603.5	558.9
Process machinery	681.9	682.0	651.1
Pipe, valves & fittings	873.5	873.5	801.0
Process instruments	403.5	403.5	385.4
Pumps & compressors	979.6	979.6	970.5
Electrical equipment	516.4	516.4	506.8
Structural supports & misc.	737.1	737.1	708.4
Construction labor	325.5	326.1	326.0
Buildings	559.6	559.7	544.0
Engineering & supervision	313.0	313.6	315.1

Los costes actualizados de los tanques de almacenamiento se recogen en la tabla LIII.

Tabla LIII. Coste actualizado de los tanques de almacenamiento de líquidos presentes en el proceso.

Tanque	CEI ₀₂ (\$)	CEI ₁₇ (\$)
Productos reacción	39000	169955
Eluyente	15600	22660
LBA	13000	18883
Sorbitol	10400	15107
<i>L + F + H₂O</i>	41600	181286
TOTAL	119600	407893

C.5.1.2. Coste de la columna de adsorción

Para estimar el coste de las columnas de adsorción se utiliza la Fig. 28.

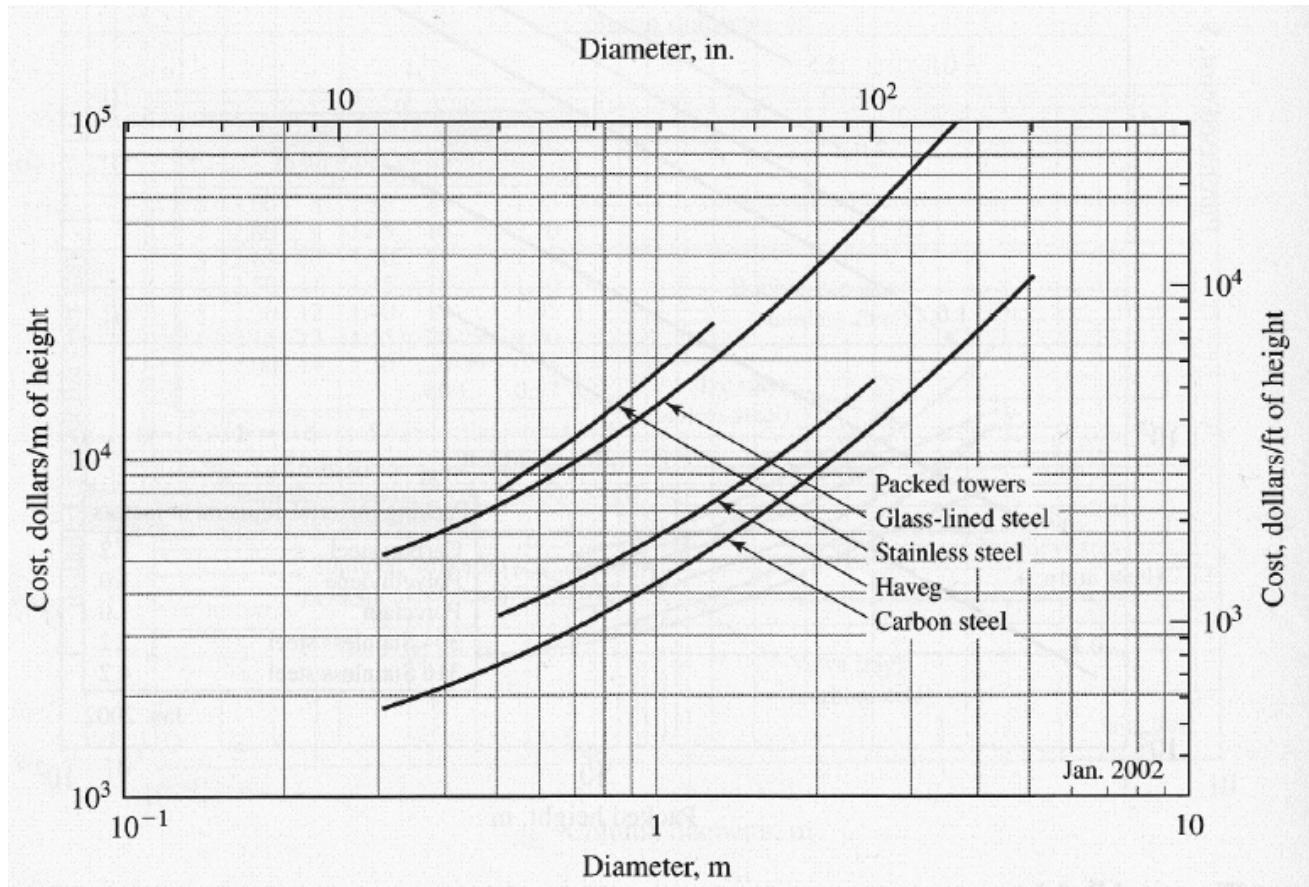


Fig. 28. Coste de adquisición de columnas de adsorción incluida la instalación en el año 2002 (Peters *et al.*, 2003).

El coste de las columnas de adsorción teniendo en cuenta la instalación se recoge en la tabla LIV.

Tabla LIV. Coste de instalación de las columnas de adsorción en el año 2002.

Equipo	D (m)	CE_{02} (\$)
Columna 1	1.20	18000
Columna 2	1.20	18000
TOTAL		36000

siendo CE_{02} , en este caso, el precio de las columnas una vez instaladas.

En la Fig.28 no se tiene en cuenta el material de fabricación de las columnas, por lo que se debe aplicar el factor de forma a partir de la ecuación [22]. Se toma el valor del FI

correspondiente a un recipiente vertical de acero inoxidable 316 de la tabla XLVI cuyo valor es 2.0. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla LV.

Tabla LV. Coste de las columnas de adsorción teniendo en cuenta el material de fabricación y el coste de instalación en el año 2002.

Equipo	CE_{02} (\$)	CE'_{02} (\$)
Columna 1	18000	36000
Columna 2	18000	36000
TOTAL	36000	72000

siendo CE'_{02} , en este caso, el precio de las columnas una vez instaladas y teniendo en cuenta el material de fabricación. De forma que: $CEI_{02} = 72000$ \$.

El coste actualizado de las columnas se calculará mediante la ecuación [24] y los resultados se recogen en la tabla LVI.

Tabla LVI. Coste actualizado de las columnas de adsorción.

Equipo	CEI_{02} (\$)	CEI_{17} (\$)
Columna 1	36000	52294
Columna 2	3600	52294
TOTAL	72000	104588

C.5.1.3. Coste de las bombas

Se seleccionarán bombas centrífugas, debido a que se ajustan a la capacidad requerida para nuestro proceso y, además, son el tipo de bombas más común.

El coste de las bombas se estima mediante la Fig. 29, en función de la capacidad de la bomba. Las bombas centrífugas necesarias se recogen en la tabla XI.

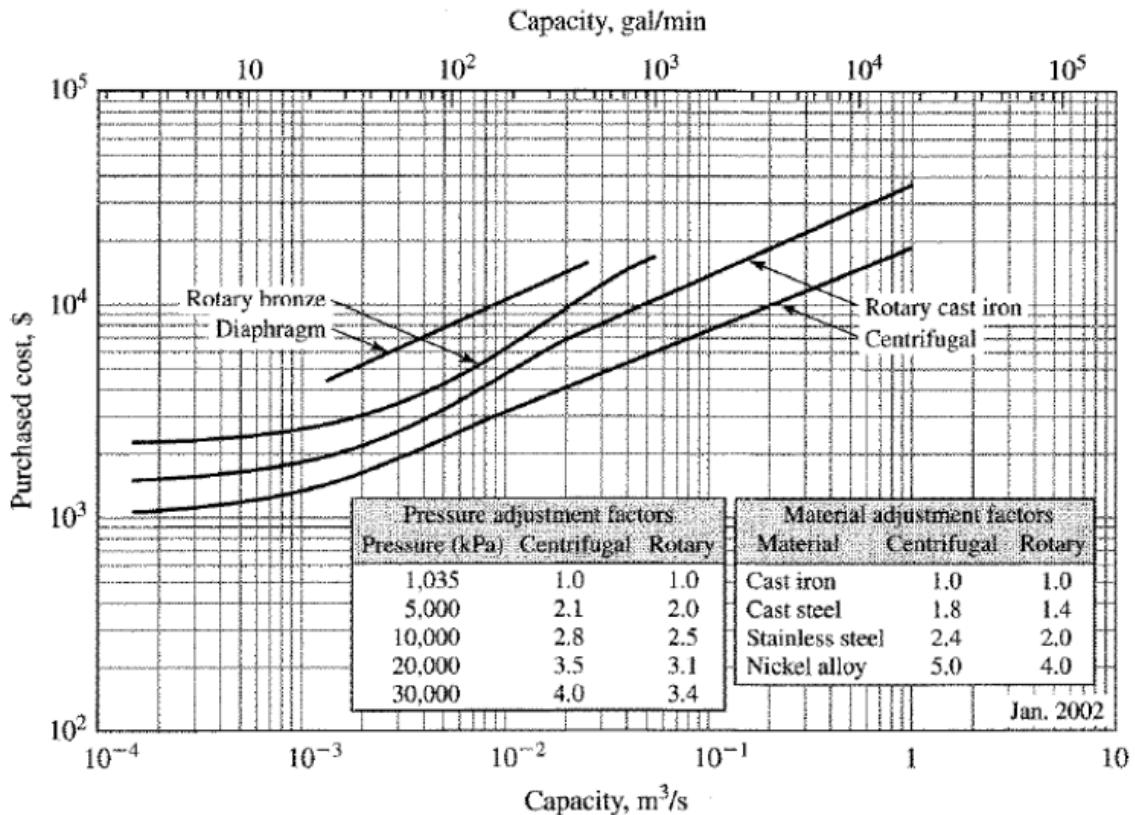


Fig. 24. Coste de adquisición de las bombas centrífugas, de diafragma y rotatorias en el año 2002 (Peters *et al.*, 2003).

Los costes estimados de las bombas centrífugas para el año 2002 se recogen en la tabla LVII.

Tabla LVII. Coste de adquisición de las bombas centrífugas en el año 2002.

Bomba	$\hat{W}_P (W)$	$\check{L} (m^3/s)$	$CE_{02} (\$)$
Productos de reacción	246.15	$3.97 \cdot 10^{-3}$	1900
Eluyente	16.25	$2.78 \cdot 10^{-4}$	1000
$L + F + S + H_2O$	234.73	$4.00 \cdot 10^{-3}$	2000
TOTAL			4900

Es necesario aplicar el factor de corrección debido al tipo de material mediante la ecuación [22]. Las bombas están fabricadas en acero inoxidable 316, por lo que FI toma el valor de 2.4. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla LVIII.

Tabla LVIII. Coste de las bombas centrífugas en el año 2002 teniendo en cuenta el material de fabricación

Bomba	CE_{02} (\$)	CE'_{02} (\$)
Productos de reacción	1900	4560
Eluyente	1000	2400
$L + F + S + H_2O$	2000	4800
TOTAL	4900	11760

La gráfica de la Fig.24, tampoco tiene en cuenta el coste de la instalación de las bombas, por eso ha de calcularse el coste de instalación para cada bomba mediante la ecuación [23]. En la tabla XLVII, se observa como el coste de instalación para las bombas será del 25 - 60 %. Se va a suponer un 40 % como coste de instalación de las bombas, el cual se sumará a cada uno de los costes obtenidos en la tabla LVIII. Los costes estimados se recogen en la tabla LIX.

Tabla LIX. Coste de instalación de las bombas centrífugas en el año 2002.

Bomba	CE'_{02} (\$)	CEI_{02} (\$)
Productos de reacción	4560	6384
Eluyente	2400	3360
$L + F + S + H_2O$	4800	6720
TOTAL	11760	16464

Los valores obtenidos del coste para cada una de las bombas han de actualizarse mediante el índice de costes actual con la ecuación [24]. En la tabla LX se muestran los costes actualizados de las bombas centrífugas presentes en el proceso.

Tabla LX. Coste actualizado de las bombas centrífugas presentes en el proceso, teniendo en cuenta el tipo de material de fabricación y el coste de la instalación.

Bomba	CEI_{02} (\$)	CEI_{17} (\$)
Productos de reacción	6384	9273
Eluyente	3360	4880
$L + F + S + H_2O$	6720	9761
TOTAL	16464	23915

C.5.2. Inversión

La inversión se evalúa en función de diferentes porcentajes en función del coste de los equipos adquiridos y enviados a la planta. Estos porcentajes vienen expresados en la tabla LXI.

Tabla LXI. Porcentajes para estimar la inversión del capital necesaria (Peters et al, 2003, p.251).

	Percent of delivered-equipment cost for		
	Solid processing plant [‡]	Solid-fluid processing plant [‡]	Fluid processing plant [‡]
Direct costs			
Purchased equipment delivered (including fabricated equipment, process machinery, pumps, and compressors)	100	100	100
Purchased-equipment installation	45	39	47
Instrumentation and controls (installed)	18	26	36
Piping (installed)	16	31	68
Electrical systems (installed)	10	10	11
Buildings (including services)	25	29	18
Yard improvements	15	12	10
Service facilities (installed)	40	55	70
Total direct plant cost	269	302	360
Indirect costs			
Engineering and supervision	33	32	33
Construction expenses	39	34	41
Legal expenses	4	4	4
Contractor's fee	17	19	22
Contingency	35	37	44
Total indirect plant cost	128	126	144
Fixed-capital investment	397	428	504
Working capital (15% of total capital investment)	70	75	89
Total capital investment	467	503	593

C.5.3. Costes de operación

C.5.3.1. Costes de servicios

En el coste de los servicios se incluye el precio de la electricidad, el agua de disolución, y el precio de la mano de obra. Se calcula mediante la tabla LXII. Para ello, es necesario pasarlo a la divisa correspondiente (€), además de actualizar el valor al año actual, mediante la ecuación [24].

Tabla LXII. Coste de servicios y de personal (Peters *et al.*, 2003, p.266).

Utility	Cost
Electricity	0.045 \$/kWh ^a
Fuel	
Coal	0.35 \$/GJ ^b
Petroleum	1.30 \$/GJ ^b
Petroleum coke	0.17 \$/GJ ^b
Gas	1.26 \$/GJ ^b
Refrigeration, to temperature	
5°C	20.0 \$/GJ ^c
-20°C	32.0 \$/GJ ^c
-50°C	60.0 \$/GJ ^c
Steam, saturated 10 ³ -10 ⁴ kPa (150-1500 psi)	4.40 \$/1000 kg ^{e,d}
Wastewater	
Disposal	0.53 \$/1000 kg ^e
Treatment	0.53 \$/1000 kg ^e
Waste	
Hazardous	145.00 \$/1000 kg ^c
Nonhazardous	36.00 \$/1000 kg ^c
Water	
Cooling	0.08 \$/1000 kg ^{c,f}
Process	0.53 \$/1000 kg ^e
Labor	
Skilled	33.67 \$/h ^g
Common	25.58 \$/h ^g

El coste de electricidad consumida por las bombas se calcula a partir de la potencia calculada en el apartado de diseño de equipos auxiliares. Como periodo de tiempo se ha considerado a modo de aproximación la operación continua durante 160 días laborables. La potencia consumida se recoge en la tabla LXIII.

Tabla LXIII. Coste de consumo eléctrico al año en la planta.

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Consumo (kW·h/carga)	Consumo (kWh/año)
Productos de reacción	0.246	8	1.968	291
Eluyente	0.016	8	0.128	19
<i>L + F + S + H₂O</i>	0.235	8	1.880	278
TOTAL				588

El coste de la electricidad se recoge en la tabla LXII, pero hay que hacer el cambio de divisa oportuno, de forma que el coste será:

$$0.045 \frac{\$}{kW \cdot h} \cdot \frac{0.85 \text{ €}}{1 \$} = 0.038 \frac{\text{€}}{kW \cdot h}$$

El coste de la electricidad calculado se muestra en la tabla LXIV.

Tabla LXIV. Coste de la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta.

Servicio	Coste unitario (€/kW·h)	Consumo (kWh/año)	Coste (€/año)	CSE ₁₇ (€)
Electricidad	0.038	588	22	33

El coste del agua se recoge en la tabla LXII, pero hay que hacer el cambio de divisa oportuno, de forma que el coste será:

$$0.08 \frac{\$}{1000 \text{ kg}} \cdot \frac{0.85 \text{ €}}{1 \$} = 0.068 \frac{\text{€}}{1000 \text{ kg}}$$

El coste del agua calculado se muestra en la tabla LXV.

Tabla LXV. Coste del agua necesaria para el funcionamiento de la planta.

Servicio	Coste unitario (€/1000 kg)	Consumo (kg/año)	Coste (€/año)	CSE ₁₇ (€)
Agua	0.068	148000	10064	14619

Finalmente, se calcula el coste de la mano de obra teniendo en cuenta la cantidad de personal necesario para llevar a cabo cada una de las operaciones.

Para el cálculo del coste del personal al año, se acude al Convenio Colectivo de la Industria Química, en el que aparece el salario mínimo de los trabajadores en función de su categoría profesional. Se ha decidido que para el correcto funcionamiento de la planta, es necesaria la presencia de, al menos, cuatro operarios por turno, cuya función será verificar el correcto comportamiento de las columnas de adsorción ante la separación. Además, se deberá contar con un ingeniero de planta y un técnico por turno.

En el caso de los operarios y el técnico, el trabajo se organizará en tres turnos, y debe haber un turno relevo, por lo que en total ascienden a cuatro. En el caso de los ingenieros de planta, se trabaja a dos turnos y habrá que tener en cuenta el turno relevo, por lo que ascenderán a tres turnos en total. Los costes del personal aparecen calculados en la tabla LXVI.

Tabla LXVI. Coste de personal al año en la planta.

Trabajadores/turno	Número total	€/(año trabajador)	Coste (€/año)	CMO₁₇ (€)
4 operarios	(4)·(4 turnos)=16	13347 (grupo 2)	213552	310208
1 técnico	(1)·(4 turnos)=4	16092 (grupo 4)	64368	93501
1 ingeniero	(1)·(3 turnos)=3	26071 (grupo 7)	78213	113613
TOTAL			356133	517323

C.5.4. Viabilidad económica

Tabla LXVII. Flujo de caja libre del proyecto en los 5 primeros años

	Año					
	0	1	2	3	4	5
Ventas	0	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321
(-) Costes de Producción	0	531975	531975	531975	531975	531975
BAAIT	0	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346
(-) Amortización	0	111776	111776	111776	111776	111776
BAII	0	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569
(-) Impuestos (30 %)	0	418070	418070	418070	418070	418070
Beneficio neto	0	975498	975498	975498	975498	975498
(+) Amortización	0	111776	111776	111776	111776	111776
(-) Inversión en A. Fijos	1584113	0	0	0	0	0
(-) Inversión en NOF	277589	0	0	0	0	0
FCL	-1861703	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275
Periodo de Retorno	-1861703	-774427	312847	1400122	2487397	3574672

Tabla LXVIII. Flujo de caja libre del proyecto en 10 años

	Año										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas	0	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321	2037321
(-) Costes de Producción	0	531975	531975	531975	531975	531975	531975	531975	531975	531975	531975
BAAIT	0	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346	1505346
(-) Amortización	0	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776
BAII	0	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569	1393569
(-) Impuestos (30 %)	0	418070	418070	418070	418070	418070	418070	418070	418070	418070	418070
Beneficio neto	0	975498	975498	975498	975498	975498	975498	975498	975498	975498	975498
(+) Amortización	0	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776	111776
(-) Inversión en A. Fijos	1584113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Inversión en NOF	277589	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCL	-1861703	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275	1087275
Periodo de Retorno	-1861703	-7744427	312847	1400122	2487397	3574672	4661947	5749223	6836498	7923773	9011048

D. HOJAS DE SEGURIDAD

D.1. LACTOSA



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 11.03.2015

Versión 6.9

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos
Número de registro REACH	No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1907/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.
No. CAS	10039-26-6

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	Investigación y análisis bioquímicos Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com ; for USA/Canada www.emdgroup.com).
--------------------	---

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-0
Departamento Responsable	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia

Instituto Nacional de Toxicología * Madrid * Tel: 91 562 04 20

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Esta sustancia no es clasificada como siendo peligrosa según la legislación de la Unión Europea.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancia

Formula	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ * H ₂ O (Hill)
No. CE	200-559-2
Masa molar	360,32 g/mol

Observaciones

Ningún ingrediente peligroso según la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

3.2 Mezcla
No aplicable

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas.
Aclararse la piel con agua/ducharse.

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua.

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consultar al médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

No nos consta una descripción de síntomas tóxicos.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

No hay información disponible.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua, Espuma, Dióxido de carbono (CO2), Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Inflamable.

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

Riesgo de explosión del polvo.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Otros datos

ningún

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Consejos para el personal de emergencia:

Equipo protector véase sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No son necesarias medidas especiales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

Página 2 de 8

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

6.4 Referencia a otras secciones

Para indicaciones sobre el tratamiento de residuos, véase sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura
Observar las indicaciones de la etiqueta.

Medidas de higiene

Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento
Bien cerrado. Seco.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Fuera de los usos indicados en la sección 1.2 no se previenen aplicaciones finales adicionales.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniería

Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen prioridad ante el uso de equipos de protección personal.
Véase sección 7.1.

Medidas de protección individual

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 de los ojos / la cara

Gafas de seguridad

Protección de las manos

Sumersión:

Material del guante:	Caucho nitrilo
Espesor del guante:	0,11 mm
tiempo de penetración:	> 480 min

Salpicaduras:

Material del guante:	Caucho nitrilo
Espesor del guante:	0,11 mm
tiempo de penetración:	> 480 min

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

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 741 Dermatril® L (Sumerción), KCL 741 Dermatril® L (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)

Protección respiratoria
necesaria en presencia de polvo.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro P 1

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Éstas medidas deben ser documentadas debidamente.

Controles de exposición medioambiental
No son necesarias medidas especiales.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Forma	sólido
Color	blanco
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No aplicable
pH	4,0 - 6,5 a 100 g/l 20 °C
Punto de fusión	202 °C
Punto de ebullición	No hay información disponible.
Punto de inflamación	No hay información disponible.
Tasa de evaporación	No hay información disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible.
Límite de explosión, inferior	No hay información disponible.
Límite de explosión, superior	No hay información disponible.
Presión de vapor	No hay información disponible.
Densidad relativa del vapor	No hay información disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos
Densidad	No hay información disponible.
Densidad relativa	No hay información disponible.
Solubilidad en agua	161 g/l a 20 °C
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: -5,03 (calculado) (sustancia anhidra) No es de esperar una bioacumulación.
Temperatura de auto-inflamación	No hay información disponible.
Temperatura de descomposición	No hay información disponible.
Viscosidad, dinámica	No hay información disponible.
Propiedades explosivas	No clasificado/a como explosivo/a.
Propiedades comburentes	ningún
9.2 Otros datos	
Temperatura de ignición	390 °C
Densidad aparente	aprox.500 kg/m³

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Riesgo de explosión del polvo.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:

Agentes oxidantes fuertes

10.4 Condiciones que deben evitarse
información no disponible

10.5 Materiales incompatibles
información no disponible

10.6 Productos de descomposición peligrosos
información no disponible

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad oral aguda

DL50 Rata: > 10.000 mg/kg (sustancia anhidra) (RTECS)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

Toxicidad aguda por inhalación

Esta información no está disponible.

Toxicidad cutánea aguda

Esta información no está disponible.

Irritación de la piel

Esta información no está disponible.

Irritación ocular

Esta información no está disponible.

Sensibilización

Esta información no está disponible.

Mutagenicidad en células germinales

Esta información no está disponible.

Carcinogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad para la reproducción

Esta información no está disponible.

Teratogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Esta información no está disponible.

Peligro de aspiración

Esta información no está disponible.

11.2 Otros datos

No deben esperarse efectos tóxicos si la manipulación es adecuada.

Sustancia presente en la naturaleza

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

SECCIÓN 12. Información ecológica**12.1 Toxicidad**

No hay información disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

No hay información disponible.

12.3 Potencial de bioacumulación

Coefficiente de reparto n-octanol/agua

log Pow: -5,03

(calculado)

(sustancia anhidra) No es de esperar una bioacumulación.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Una valoración PBT y MPMB no se hizo, debido al echo de que una evaluación de peligro químico no es necesaria o no existe.

12.6 Otros efectos adversos

La descarga en el ambiente debe ser evitada.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	107660
Denominación	Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación*Métodos para el tratamiento de residuos*

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con la directiva sobre residuos 2008/98/CE así como con otras normativas locales o nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte**Transporte por carretera (ADR/RID)**

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

Transporte fluvial (ADN)

No relevante

Transporte aéreo (IATA)

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

Transporte marítimo (IMDG)

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC
No relevante

SECCIÓN 15. Información reglamentaria**15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla***Disposiciones legales de la CE*

Legislación de Peligro de	96/82/EC
Accidente Importante	La directiva 96/82/EC no se aplica
Alemán	

Reglamento 1005/2009/CE relativo a sustancias que agotan la capa de ozono no regulado

Reglamento (CE) nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre contaminantes orgánicos persistentes que modifica la Directiva 79/117/CEE no regulado

Reglamento (CE) No 689/2008 relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos no regulado

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número 107660
Denominación Lactosa monohidrato para fines bioquímicos

Sustancias extremadamente preocupantes (SVHC) Este producto no contiene sustancias extremadamente preocupantes por encima del límite legal de concentración correspondiente ($\geq 0,1\% \text{ p/p}$) según la normativa CE n.º 1907/2006 (REACH), artículo 57.

Legislación nacional
Clase de almacenamiento 10 - 13

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para éste producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCIÓN 16. Otra información

Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes.

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

El producto no necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea ó las respectivas leyes nacionales.

Una explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad
Puede consultar las abreviaturas y acrónimos utilizados en www.wikipedia.org.

Representante regional

Merck Chemical and Life Science, S.A.
C/ María de Molina, 40|28006 Madrid - España |
Tel: +34 935655500 | Fax: +34 935440000 | email:SCM.Chemicals.ES@merckgroup.com |
www.merck.es

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

D.2. FRUCTOSA



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 17.03.2015

Versión 3.6

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos
Número de registro REACH	No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la s ustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Re glamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere regis tro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.
No. CAS	57-48-7

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	Investigación y análisis bioquímicos Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com ; for USA/Canada www.emdgroup.com).
--------------------	---

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-0
Departamento Responsable	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia	Instituto Nacional de Toxicología * Madrid * Tel: 91 562 04 20
----------------------------	--

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Esta sustancia no es clasificada como siendo peligrosa según la legislación de la Unión Europea.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)
No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancia

Formula	C ₆ H ₁₂ O ₆ (Hill)
No. CE	200-333-3
Masa molar	180,15 g/mol

Observaciones	Ningún ingrediente peligroso según la Reglamento (CE) No. 1907/2006.
---------------	--

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

3.2 Mezcla
No aplicable

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas.

Aclararse la piel con agua/ducharse.

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua.

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consultar al médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

No nos consta una descripción de síntomas tóxicos.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

No hay información disponible.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua, Espuma, Dióxido de carbono (CO2), Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Inflamable.

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

Riesgo de explosión del polvo.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Otros datos
ningún

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, con consulte con expertos.

Consejos para el personal de emergencia:

Equipo protector véase sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No son necesarias medidas especiales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

Página 2 de 8

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

6.4 Referencia a otras secciones

Para indicaciones sobre el tratamiento de residuos, véase sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura
Observar las indicaciones de la etiqueta.

Medidas de higiene

Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento
Bien cerrado. Seco.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Fuera de los usos indicados en la sección 1.2 no se previenen aplicaciones finales adicionales.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniería

Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen prioridad ante el uso de equipos de protección personal.

Véase sección 7.1.

Medidas de protección individual

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 de los ojos / la cara

Gafas de seguridad

Protección de las manos

Sumersión:

Material del guante:	Caucho nitrilo
Espesor del guante:	0,11 mm
tiempo de penetración:	> 480 min

Salpicaduras:

Material del guante:	Caucho nitrilo
Espesor del guante:	0,11 mm
tiempo de penetración:	> 480 min

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

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 741 Dermatril® L (Sumersión), KCL 741 Dermatril® L (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)

Protección respiratoria

necesaria en presencia de polvo.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro P 1

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Éstas medidas deben ser documentadas debidamente.

Controles de exposición medioambiental

No son necesarias medidas especiales.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Forma	sólido
Color	crema
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No hay información disponible.
pH	aprox. 5 - 6 a 100 g/l 20 °C
Punto de fusión	100 - 104 °C Directrices de ensayo 102 del OECD
Punto de ebullición	No hay información disponible.
Punto de inflamación	No hay información disponible.
Tasa de evaporación	No hay información disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible.
Límite de explosión, inferior	No hay información disponible.
Límite de explosión, superior	No hay información disponible.
Presión de vapor	No hay información disponible.
Densidad relativa del vapor	No hay información disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos
Densidad	1,59 g/cm ³ a 20 °C Directrices de ensayo 109 del OECD
Densidad relativa	No hay información disponible.
Solubilidad en agua	790 g/l a 20 °C Directrices de ensayo 105 del OECD
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: -1,55 (calculado) (Literatura) No es de esperar una bioacumulación.
Temperatura de auto-inflamación	No hay información disponible.
Temperatura de descomposición	No hay información disponible.
Viscosidad, dinámica	No hay información disponible.
Propiedades explosivas	No aplicable
Propiedades comburentes	ningún
9.2 Otros datos	
Temperatura de ignición	360 °C
Densidad aparente	aprox.700 - 800 kg/m ³

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Riesgo de explosión del polvo.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:

Agentes oxidantes fuertes

10.4 Condiciones que deben evitarse

Fuerte calefacción (descomposición).

10.5 Materiales incompatibles

información no disponible

10.6 Productos de descomposición peligrosos

información no disponible

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

Toxicidad oral aguda

Esta información no está disponible.

Toxicidad aguda por inhalación

Esta información no está disponible.

Toxicidad cutánea aguda

Esta información no está disponible.

Irritación de la piel

Esta información no está disponible.

Irritación ocular

Esta información no está disponible.

Sensibilización

Esta información no está disponible.

Mutagenicidad en células germinales

Esta información no está disponible.

Carcinogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad para la reproducción

Esta información no está disponible.

Teratogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Esta información no está disponible.

Peligro de aspiración

Esta información no está disponible.

11.2 Otros datos

No pueden excluirse características peligrosas, pero son poco probables si su manipulación es adecuada.

Sustancia presente en la naturaleza

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

SECCIÓN 12. Información ecológica**12.1 Toxicidad**

No hay información disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

No hay información disponible.

12.3 Potencial de bioacumulación

Coefficiente de reparto n-octanol/agua

log Pow. -1,55

(calculado)

(Literatura) No es de esperar una bioacumulación.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Una valoración PBT y MPMB no se hizo, debido al echo de que una evaluación de peligro químico no es necesaria o no existe.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

12.6 Otros efectos adversos
La descarga en el ambiente debe ser evitada.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

Métodos para el tratamiento de residuos

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con la directiva sobre residuos 2008/98/CE así como con otras normativas locales o nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

Transporte por carretera (ADR/RID)

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

Transporte fluvial (ADN)

No relevante

Transporte aéreo (IATA)

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

Transporte marítimo (IMDG)

14.1 - 14.6	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
-------------	--

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

No relevante

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Disposiciones legales de la CE

Legislación de Peligro de	96/82/EC
Accidente Importante	La directiva 96/82/EC no se aplica
Alemán	

Reglamento 1005/2009/CE relativo a sustancias que agotan la capa de ozono	no regulado
---	-------------

Reglamento (CE) nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre contaminantes orgánicos persistentes que modifica la Directiva 79/117/CEE	no regulado
---	-------------

Reglamento (CE) No 689/2008 relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos	no regulado
--	-------------

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	104007
Denominación	D(-)-Fructosa para fines bioquímicos

Sustancias extremadamente preocupantes (SVHC) Este producto no contiene sustancias extremadamente preocupantes por encima del límite legal de concentración correspondiente ($\geq 0,1\% \text{ p/p}$) segú n la normativa CE n.º 1907/2006 (REACH), artículo 57.

Legislación nacional

Clase de almacenamiento 10 - 13

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para éste producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCIÓN 16. Otra información

Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes.

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

El producto no necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea ó las respectivas leyes nacionales.

Una explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad

Puede consultar las abreviaturas y acrónimos utilizados en www.wikipedia.org.

Representante regional

Merck Chemical and Life Science, S.A.]

C/ María de Molina, 40|28006 Madrid - España |

Tel: +34 935655500 | Fax: +34 935440000 | email:SCM.Chemicals.ES@merckgroup.com |

www.merck.es

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

D.3. ÁCIDO LACTOBIÓNICO



Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31

página: 1/3

fecha de impresión 04.11.2015

Revisión: 21.08.2014

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial: Lactobionic acid

Número del artículo: J66368

Número CAS:

96-82-2

Número CE:

202-538-3

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados.

Uso Identificado: SU24 Investigación y desarrollo científicos

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Fabricante/distribuidor:

Thermo Fisher (Kandel) GmbH

Zeppeleinstr. 7b

76185 Karlsruhe / Germany

Tel: +49 (0) 721 84007 280

Fax: +49 (0) 721 84007 300

Email: bach@alfa.com

www.alfa.com

www.alfa.com

Área de información: Departamento de seguridad del producto

1.4 Teléfono de emergencia:

Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670 (Multi-Idioma, el número de emergencia las 24 horas)

Giftnotruf Universität Mainz / Veneno Centro de información Mainz

www.giftnifo.uni-mainz.de Telefono:+49(0)6131/19240

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación con arreglo al Reglamento (CE) nº 1272/2008

La sustancia no está clasificada como peligrosa para la salud o el medio ambiente de acuerdo con el reglamento CLP.

Clasificación con arreglo a la Directiva 67/548/CEE o Directiva 1999/45/CE Nulo

Indicaciones adicionales sobre los riesgos para personas y el medio ambiente: No se dispone de información.

Otros peligros que no conducen a una clasificación: No se dispone de información.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado con arreglo al Reglamento (CE) nº 1272/2008 No aplicable

Pictogramas de peligro: No aplicable

Palabra de advertencia: No aplicable

Indicaciones de peligro: No aplicable

Sistema de clasificación:

Valoración HMIS (escala 0-4)

(Sistema de identificación de materiales peligrosos)

Salud (efectos agudos) = 1

Inflamabilidad = 1

Peligro Físico = 1

2.3 Otros peligros

Resultados de la valoración PBT y mPmB

PBT: No aplicable.

mPmB: No aplicable.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Nº CAS Denominación

96-82-2 4-O-B-D-Galactopyranosyl-D-glucuronic acid

Número(s) de identificación

Número CE: 202-538-3

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

En caso de inhalación del producto:

Suministrar aire fresco; eventualmente hacer respiración artificial, calor. Si los trastornos persisten, consultar al médico.

Consultar inmediatamente al médico

En caso de contacto con la piel:

Lavar en seguida con agua y jabón, enjuagando bien.

Consultar inmediatamente al médico

En caso de con los ojos: Enjuagar durante varios minutos los ojos entorpecidos con agua corriente y consultar el médico.

En caso de ingestión: Mandarlo al médico

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados: No existen más datos relevantes disponibles.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deben dispensarse inmediatamente

No existen más datos relevantes disponibles.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Sustancias extintoras adecuadas:

CO₂, polvo de extinción o chorro de agua chispeante. Combatir incendios mayores con chorro de agua chispeante o espuma resistente al alcohol.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Si este producto está involucrado en un incendio, el siguiente puede ser liberado:

Monóxido de carbono y dióxido de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo especial de protección:

Llevar puesto aparato de protección de respiración independientemente del aire ambiental

Llevar puesto traje de protección completa

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Llevar puesto equipo de protección. Mantener alejadas las personas sin protección.

Asegurarse de que haya suficiente ventilación.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente: No dejar introducirse al alcantarillado o las aguas.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza: Recoger mecánicamente.

Prevención de riesgos secundarios: No requiere medidas especiales.

{ se continua en página 2 }

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31página: 2/3
fecha de impresión 04.11.2015
Revisión: 21.08.2014

Nombre comercial: Lactobionic acid	(se continua en página 1)
6.4 Referencia a otras secciones Las informaciones para una manipulación segura, véase capítulo 13. Ver capítulo 8 para mayor información sobre el equipo personal de protección. Para mayor información sobre cómo desechar el producto, ver capítulo 13.	
SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento	
7.1 Precauciones para una manipulación segura Mantener el depósito cerrado de forma estanca. Almacenar, en envases bien cerrados, en un ambiente seco y fresco. Prevención de incendios y explosiones: No se dispone de información.	
7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, Incluidas posibles incompatibilidades Almacenaje: Exigencias con respecto al almacén y los recipientes: No requiere medidas especiales. Normas en caso de un almacenamiento conjunto: No almacenar junto con agentes oxidantes. Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento: Mantener el recipiente cerrado herméticamente. Almacenar en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco.	
7.3 Usos específicos finales No existen más datos relevantes disponibles.	
SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual	
Instrucciones adicionales sobre el acondicionamiento de instalaciones técnicas: Campana extractora para humos químicos de funcionamiento correcto diseñada para productos químicos peligrosos y con una velocidad de extracción de al menos 30 metros por minuto.	
8.1 Parámetros de control Componentes con valores límite admisibles que deben controlarse en el puesto de trabajo: El producto no contiene cantidades relevantes de substancias con valores límite que exijan un control en el puesto de trabajo. Instrucciones adicionales: Sin datos	
8.2 Controles de la exposición Equipo de protección personal Medidas generales de protección e higiene Son de respetar las medidas regulares de seguridad para el manejo de productos químicos. Mantener alejado de alimentos, bebidas y forraje. Quitarse inmediatamente ropa ensuciada o impregnada. Lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo. Mantener un entorno ergonómico adecuado de trabajo. Protección de respiración: Si las concentraciones son elevadas, llevar protección respiratoria. Aparato de filtro recomendado para aplicación de corta duración: Use un respirador N95 con o tipo (EUA) ou (EN 143) PE carífigas como um backup para os controles de engenharia. Avaliação de risco deve ser realizada para determinar se respiradores purificadores de ar são adequados. Se use equipamentos testados e aprovados segundo as normas governamentais apropriadas. Protección de manos: Antes de cada uso, comprobar el estado de los guantes de seguridad. La elección del guante adecuado no depende únicamente del material, sino también de otras características de calidad, que pueden variar de un fabricante a otro. Material de los guantes Guantes impermeables Tiempo de penetración del material de los guantes (en minutos) Sin determinar Protección de ojos: Gafas de protección. Protección de cuerpo: Ropa de trabajo protectora	
SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas	
9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas	
Datos generales	
Aspecto:	
Forma:	Pulvo
Color:	De color blanco a blanco
Olor:	Inodoro
Umbral olfativo:	No determinado.
valor pH:	No aplicable.
Modificación de estado	
Punto de fusión /campo de fusión:	113-118 °C
Punto de ebullición /campo de ebullición:	Indeterminado
Temperatura de sublimación/ inicio de la sublimación:	Sin determinar
Inflamabilidad (sólido, gaseliforme):	No determinado.
Temperatura fulminante:	Sin determinar
Temperatura de descomposición:	Sin determinar
Autoinflamabilidad:	No determinado.
Peligro de explosión:	No determinado.
Límites de explosión:	
Inferior:	Sin determinar
Superior:	Sin determinar
Presión de vapor:	No aplicable.
Densidad:	No determinado.
Densidad relativa:	No determinado.
Densidad de vapor:	No aplicable.
Velocidad de evaporación:	No aplicable.
Solubilidad en / mezclabilidad con	
Agua:	Soluble
Coefficiente de distribución (n-Octano/agua):	No determinado.
Viscosidad	
Dinámica:	No aplicable.
Cinemática:	No aplicable.
9.2 Información adicional	No existen más datos relevantes disponibles.
SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad	
10.1 Reactividad No se dispone de información.	
10.2 Estabilidad química Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.	
Descomposición térmica / condiciones que deben evitarse: No se descompone con almacenaje y manejo adecuado.	
10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas Reacciones con medios de oxidación fuertes	
10.4 Condiciones que deben evitarse No existen más datos relevantes disponibles.	
10.5 Materiales incompatibles: Agentes oxidantes	
10.6 Productos de descomposición peligrosos: Monóxido de carbono y dióxido de carbono	

(se continua en página 3)

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31

página: 3/3
fecha de impresión: 04.11.2015
Revisión: 21.08.2014

Nombre comercial: **Lactobionic acid**

(se continua en página 2)

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda: No hay efectos conocidos.

Valores LD/LC50 (dosis letal /dosis letal = 50%) relevantes para la clasificación: Sin datos

Irritación o corrosión: Puede causar irritación

Irritación de los ojos o la corrosión: Puede producir irritación

Sensibilización: No se conoce ningún efecto sensibilizante

Mutagenicidad en células germinales: No hay efectos conocidos.

Carcinogenicidad: No hay datos clasificatorios sobre las propiedades carcinogénicas de este material de la EPA, IARC, NTP, OSHA o ACGIH.

Toxicidad para la reproducción: No hay efectos conocidos.

Especificidad en determinados órganos del sistema toxicidad - exposición repetida: No hay efectos conocidos.

Especificidad en determinados órganos del sistema toxicidad - exposición única: No hay efectos conocidos.

Peligro por aspiración: No hay efectos conocidos.

Toxicidad de subaguda a crónica: No hay efectos conocidos.

Instrucciones adicionales toxicológicas: Que nosotros sepamos no se conoce totalmente la toxicidad aguda y crónica de esta sustancia.

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad acuática: No existen más datos relevantes disponibles.

12.2 Persistencia y degradabilidad: No existen más datos relevantes disponibles.

12.3 Potencial de bioacumulación: No existen más datos relevantes disponibles.

12.4 Movilidad en el suelo: No existen más datos relevantes disponibles.

Indicaciones medioambientales adicionales:

Instrucciones generales:

Nivel de riesgo para el agua 1 (autoclasiificación): escasamente peligroso para el agua

En estado no diluido o no neutralizado, no dejar que se infiltre en aguas subterráneas, aguas superficiales o en alcantarillados.

Es necesario evitar un contacto con el medio ambiente.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB:

PBT: No aplicable.

mPmB: No aplicable.

12.6 Otros efectos adversos: No existen más datos relevantes disponibles.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Recomendación:

Entregar a colectores de basura especial o llevar a un depósito de sustancias problemáticas.

Debe ser sometido a un tratamiento especial conforme a las normativas oficiales.

Consulte la normativa autonómica, local o nacional para una eliminación apropiada como desecho.

Embalajes no purificados:

Recomendación: Eliminación conforme a las disposiciones administrativas.

Producto de limpieza recomendado: Agua, eventualmente añadiendo productos de limpieza.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

Número UN

ADR, ADN, IMDG, IATA

No aplicable

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR, ADN, IMDG, IATA

No aplicable

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR, ADN, IMDG, IATA

No aplicable

Clase

Grado de embalaje

ADR, IMDG, IATA

No aplicable

14.5 Peligros para el medio ambiente:

No aplicable.

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

No aplicable.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

No aplicable.

"Reglamentación Modelo" de la UNECE:

-

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Reglamento nacional:

Indicaciones sobre las limitaciones de trabajo: Uso restringido a personas técnicamente cualificadas.

Clase de peligro para el agua: CPA 1 (autoclasiificación): poco peligroso para el agua.

Demás disposiciones, limitaciones y decretos prohibitivos

Sustancias altamente preocupantes (SVHC) según REACH (CE) N° 1907/2006. La sustancia no está en la lista.

Deben respetarse las condiciones de restricciones de acuerdo con el artículo 67 y el anexo XVII del Reglamento (CE) nº 1907/2006 (REACH) para la fabricación, comercialización y uso.

No contiene la sustancia.

Anexo XIV del Reglamento REACH (que requieren la autorización para su uso) No contiene la sustancia.

15.2 Evaluación de la seguridad química: Una evaluación de la seguridad química no se ha llevado a cabo.

SECCIÓN 16: Otra información

Los empresarios deben usar esta información sólo como complemento a otras informaciones que puedan reunir y deben enjuiciar de forma independiente la aptitud de esta información para asegurar un uso adecuado y proteger la salud y seguridad de sus empleados. Esta información se suministra sin ninguna garantía y cualquier uso del producto que no esté conforme con la hoja de datos de seguridad del material o en combinación con cualquier otro producto o proceso es responsabilidad del usuario.

Sector que expide la hoja de datos de seguridad: Departamento de Marketing Global

Abreviaturas y acrónimos:

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (USA)

GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals

KIN/IC: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances

CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)

HMIS: Hazardous Materials Identification System (USA)

LC50: letal concentration, 50 percent

D.LD50: dose letal, 50 por ciento

vPvB: very Persistent and very Bioaccumulative

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (USA)

DSL: Domestic Substances List (Canada Environmental Protection Agency)

NTP: National Toxicology Program (USA)

IARC: International Agency for Research on Cancer

EPA: Environmental Protection Agency (USA)

E8

D.4. SORBITOL



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 28.03.2018

Versión 1.1

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número	D47070
Código del producto	56755
Denominación	Sorbitol

Número de registro REACH No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

No. CAS 50-70-4

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados Producto químico para investigación y desarrollo
Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com; for USA/Canada www.emdgroup.com).

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-0
Departamento Responsable LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Teléfono de emergencia Instituto Nacional de Toxicología * Madrid * Tel: 91 562 04 20

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros**2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Esta sustancia no es clasificada como siendo peligrosa según la legislación de la Unión Europea.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

SECCIÓN 3. Composición/ información sobre los componentes**3.1 Sustancia**

Formula C₄H₈O₃ (Hill)

No. CE 200-061-5

Masa molar 182,17 g/mol

Observaciones Ningún ingrediente peligroso según la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

3.2 Mezcla

No aplicable

SECCIÓN 4. Primeros auxilios**4.1 Descripción de los primeros auxilios**

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas.

Aclararse la piel con agua/ducharse.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Retirar las lentillas.

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consultar al médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
dolores de estómago, Diarrea

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

No hay información disponible.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua, Espuma, Dióxido de carbono (CO2), Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Inflamable.

Riesgo de explosión del polvo.

En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire.

Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo.

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

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Otros datos

ningún

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Equipo protector véase sección 8.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Consejos para el personal de emergencia:

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No son necesarias medidas especiales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10).

Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

6.4 Referencia a otras secciones

Para indicaciones sobre el tratamiento de residuos, véase sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura

Observar las indicaciones de la etiqueta.

Medidas de higiene

Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

Bien cerrado. Seco.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Fuera de los usos indicados en la sección 1.2 no se previenen aplicaciones finales adicionales.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/ protección individual

8.1 Parámetros de control

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Medidas de ingeniería

Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen prioridad ante el uso de equipos de protección personal.

Véase sección 7.1.

Medidas de protección individual

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 de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad

Protección de las manos

Sumersión:

Material del guante: Caucho nitrilo

Espesor del guante: 0,11 mm

Tiempo de penetración: > 480 min

Salpicaduras:

Material del guante: Caucho nitrilo

Espesor del guante: 0,11 mm

Tiempo de penetración: > 480 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 741 Dermatril® L (Sumersión), KCL 741 Dermatril® L (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.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

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
prendas de protección

Protección respiratoria

necesaria en presencia de polvo.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro P 1

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Éstas medidas deben ser documentadas debidamente.

Controles de exposición medioambiental

No son necesarias medidas especiales.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Forma sólido

Color incoloro

Olor inodoro

Umbral olfativo No aplicable

pH 6 - 7
a 100 g/l
20 °C

Punto/intervalo de fusión 94 - 96 °C

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Punto de ebullición	No hay información disponible.
Punto de inflamación	> 100 °C
Tasa de evaporación	No hay información disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	Puede formar concentraciones de polvo combustible en el aire.
Límites inferior de explosividad	No hay información disponible.
Límite superior de explosividad	No hay información disponible.
Presión de vapor	No hay información disponible.
Densidad relativa del vapor	No hay información disponible.
Densidad	1,49 g/cm ³ a 20 °C
Densidad relativa	No hay información disponible.
Solubilidad en agua	2.350 g/l a 25 °C
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	log Pow: -2,20 (experimentalmente) (Literatura) No es de esperar una bioacumulación.
Temperatura de auto-inflamación	No hay información disponible.
Temperatura de descomposición	No hay información disponible.
Viscosidad, dinámica	No hay información disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Propiedades explosivas No clasificado/a como explosivo/a.

Propiedades comburentes ningún

9.2 Otros datos

Temperatura de ignición 420 °C

Densidad aparente aprox.450 kg/m³

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Riesgo de explosión del polvo.

En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire.

Debe considerarse crítico un intervalo a partir de aprox. 15 Kelvin por debajo del punto de inflamación.

10.2 Estabilidad química

sensible a la humedad

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:

Agentes oxidantes fuertes

10.4 Condiciones que deben evitarse

Calentamiento fuerte., Exposición a la humedad.

10.5 Materiales incompatibles

información no disponible

10.6 Productos de descomposición peligrosos

información no disponible

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

SECCIÓN 11. Información toxicológica**11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**

Toxicidad oral aguda

DL50 Rata: 15.900 mg/kg

(RTECS)

Toxicidad aguda por inhalación

Esta información no está disponible.

Toxicidad cutánea aguda

Esta información no está disponible.

Irritación de la piel

Esta información no está disponible.

Irritación ocular

Esta información no está disponible.

Sensibilización

Esta información no está disponible.

Mutagenicidad en células germinales

Genotoxicidad in vitro

Salmonella typhimurium

Resultado: negativo

(Literatura)

Carcinogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad para la reproducción

Esta información no está disponible.

Teratogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Esta información no está disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Esta información no está disponible.

Peligro de aspiración

Esta información no está disponible.

11.2 Otros datos

Tras ingestión de grandes cantidades:

Diarrea, dolores de estómago

Los riesgos son improbables con manejo adecuado.

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

No hay información disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

No hay información disponible.

12.3 Potencial de bioacumulación

Coeficiente de reparto n-octanol/agua

log Pow: -2,20

(experimentalmente)

(Literatura) No es de esperar una bioacumulación.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Una valoración PBT y MPMB no se hizo, debido al echo de que una evaluación de peligro químico no es necesaria o no existe.

12.6 Otros efectos adversos

La descarga en el ambiente debe ser evitada.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

Métodos para el tratamiento de residuos

Directiva sobre residuos 2008/98 nota / CE.

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con normativas locales y nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

Transporte por carretera (ADR/RID)

14.1 - 14.6 Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

Transporte fluvial (ADN)

No relevante

Transporte aéreo (IATA)

14.1 - 14.6 Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

Transporte marítimo (IMDG)

14.1 - 14.6 Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

No relevante

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Disposiciones legales de la CE

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número D47070
Nombre del producto Sorbitol

Legislación de Peligro de SEVESO III

Accidente Importante No aplicable
Alemán

Reglamento 1005/2009/CE relativo a sustancias no regulado
que agotan la capa de ozono

Reglamento (CE) nº 850/2004 del Parlamento no regulado
Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004
sobre contaminantes orgánicos persistentes que
modifica la Directiva 79/117/CEE

Sustancias extremadamente preocupantes (SVHC) Este producto no contiene sustancias
extremadamente preocupantes por encima del límite legal de concentración
correspondiente ($\geq 0,1\% \text{ p/p}$) según la normativa CE nº 1907/2006 (REACH),
artículo 57.

Legislación nacional
Clase de almacenamiento 10 - 13

Clase de explosión del polvo St1

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para éste producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCIÓN 16. Otra información

Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	D47070
Nombre del producto	Sorbitol

Una explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad
Puede consultar las abreviaturas y acrónimos utilizados en www.wikipedia.org.

Representante regional

Merck Chemical and Life Science, S.A.|

C/ María de Molina, 40|28006 Madrid - España |

Tel: +34 935655500 | Fax: +34 935440000 | email:SCM.Chemicals.ES@merckgroup.com |

www.merck.es

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

D.5. COMPLEJO ENZIMÁTICO GFOR/GL DE ZYMO MONAS MOBILIS



Product Sheet

Zymomonas mobilis subsp. mobilis (ATCC® 29191™)

Please read this FIRST



Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Zymomonas mobilis subsp. mobilis* (ATCC® 29191™)



Description

Designation: Z6 [NCIB 11199]

Deposited Name: *Zymomonas mobilis* subsp. *mobilis* (Lindner) Kluyver and van Niel



Propagation

Medium

ATCC® Medium 948: *Zymomonas* medium

Growth Conditions

Temperature: 30.0°C

Atmosphere: Aerobic

Propagation Procedure

1. Open vial according to enclosed instructions.
2. Using a single tube of #948 broth (5 to 6 ml), withdraw approximately 0.5 to 1.0 ml with a Pasteur or 1.0 ml pipette. Rehydrate the entire pellet.
3. Aseptically transfer this aliquot back into the broth tube. Mix well.
4. Use several drops of the suspension to inoculate a #948 agar slant and/or plate.
5. Incubate the tubes and plate at 30°C for 48 hours.



Notes

After approximately 48 hours of incubation at 30°C, growth is observed by turbidity in the broth tube. Colonies on plates are circular, entire, glistening, smooth, and cream colored, often varying in size and opacity. Cells appear as Gram negative, non-motile rods with rounded ends. They are arranged singly, in pairs, and sometimes in chains.

Additional information on this culture is available on the ATCC® web site at www.atcc.org.



References

References and other information relating to this product are available online at www.atcc.org.



Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

ATCC Warranty

ATCC® products are warranted for 30 days from the date of shipment, and this warranty is valid only if the product is stored and handled according to the information included on this product information sheet. If the ATCC® product is a living cell or microorganism, ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this product. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this product. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans. While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to insure authenticity and reliability of materials on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of such materials.

Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor



Product Sheet

***Zymomonas mobilis* subsp.
mobilis (ATCC® 29191™)****Please read this FIRST****Intended Use**

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Zymomonas mobilis* subsp. *mobilis* (ATCC® 29191™)

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.385.2700
Fax: 703.385.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Page 2 of 2

product. The MTA is also available on our Web site at www.atcc.org

Additional information on this culture is available on the ATCC web site at www.atcc.org.
© ATCC 2012. All rights reserved. ATCC is a registered trademark of the American Type Culture Collection. [12/05]



THE ESSENTIALS OF LIFE SCIENCE RESEARCH
GLOBALLY DELIVERED™

SAFETY DATA SHEET

SECTION 1 - SUBSTANCE IDENTITY AND COMPANY INFORMATION

Product Name: Various Microbial Cultures at Biosafety Level 1 or 2 or 3
ATCC Catalog #: Various

COMPANY INFORMATION: AMERICAN TYPE CULTURE COLLECTION
 PO BOX 1549
 MANASSAS, VA 20108

FOR INFORMATION CALL: 800-638-6597 or 703-365-2700
AFTER-HOURS CONTACT: 703-365-2710
CHEMTREC EMERGENCY: 800-424-9300 or 703-527-3887

SECTION 2 - COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Either freeze dried, frozen or growing cells shipped in liquid cell culture medium (a mixture of components that may include, but is not limited to: inorganic salts, vitamins, amino acids, carbohydrates and other nutrients dissolved in water). Frozen Cultures may also contain a 5%-10% solution of Dimethyl sulfoxide as a cryoprotectant.

SECTION 3 - HAZARD IDENTIFICATION

HMIS Rating: N/A
NFPA Rating: N/A

This substance is not hazardous as defined by OSHA 29CFR 1910.1200 however this product should be handled according to good lab practices, with proper personal protective equipment, proper engineering controls and within the parameters of the purchaser's safety program.

Health Hazards

ATCC recommends that all ATCC microbial cultures be handled by qualified microbiologists using appropriate safety procedures and precautions. Detailed discussions of laboratory safety procedures are provided in **Laboratory Safety: Principles and Practice** (Fleming et al) and in the U.S. Government Publication, **Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories**. This publication is available in its entirety in the Center for Disease Control Office of Health and Safety's web site at <http://www.cdc.gov/biosafety/publications/bmbl5/index.htm> .

Information on the classification of human etiologic agents on the basis of hazard can be found as Appendix B in the **NIH Guidelines for Research Involving Recombinant DNA Molecules** at <http://grants.nih.gov/grants/policy/recombinantdnaguidelines.htm>.

SECTION 4 - FIRST AID MEASURES

Report to your Safety Office and Seek Medical Attention as Soon as Possible

American Type Culture Collection (ATCC®)
 P.O. Box 1549
 Manassas, VA 20110 USA
www.atcc.org

(800) 638-6597 or 703-365-2700
 Fax: 703-365-2750
 Doc ID: 8409
 Effective Date: 08/13/2012
 Revision: 4



THE ESSENTIALS OF LIFE SCIENCE RESEARCH
GLOBALLY DELIVERED™

SAFETY DATA SHEET

Ingestion:	If person is unconscious seek emergency medical attention; never give anything by mouth to an unconscious person. If the person is conscious wash mouth out with water and call a physician then administer three cups of water. Do not induce vomiting unless directed to do so by a physician.
Inhalation:	If person is unconscious seek emergency medical attention, if person is conscious remove to fresh air and call a physician.
Dermal exposure:	Immediately wash skin with water followed by washing with soap and water. Remove all contaminated clothing.
Eye exposures:	Flush eyes with water for at least 15 minutes with eyelids separated and call a physician.

SECTION 5 - FIRE FIGHTING MEASURES	
Flammability:	Data not available
Suitable Extinguishing Media:	Water spray, carbon dioxide, dry chemical powder, Halon (where regulations permit), or appropriate foam.
Firefighting Protective Equipment:	Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent inhalation, ingestion, skin and eye contact.
Specific Hazard(s):	Responders should take into consideration the biohazard risk associated with responding to a fire in the area where the material may be stored or handled.

SECTION 6 - ACCIDENTAL RELEASE MEASURES	
Procedure(s) of Personal Precaution(s):	At a minimum use PPE listed in Section 8. Wear laboratory coat, gloves and eye protection. Avoid all contact. Methods for Cleaning Up
Patient/Victim:	Wash with soap and water. Work clothes should be laundered separately. Launder contaminated clothing before re-use. Do not take clothing home.
Equipment/Environment:	Allow aerosols to settle; wearing protective clothing, gently cover spill with paper towel and apply 1% sodium hypochlorite, starting at perimeter and working towards the center; allow sufficient contact time before cleanup (30 min).

Note: The use of additional PPE may be necessary for cleaning solutions.

SECTION 7 - HANDLING AND STORAGE	
Handle and store according to instructions on product information sheet and label.	
Special Requirements:	

American Type Culture Collection (ATCC®)
P.O. Box 1549
Manassas, VA 20110 USA
www.atcc.org

(800) 638-6507 or 703-365-2700
Fax: 703-365-2750
Doc ID: 8409
Effective Date: 08/13/2012
Revision: 4



THE ESSENTIALS OF LIFE SCIENCE RESEARCH
GLOBALLY DELIVERED™

SAFETY DATA SHEET

Follow established laboratory procedures when handling material.

SECTION 8 - EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Use Personal Protective Equipment: Including Eye Protection, Chemical Resistant Gloves, and appropriate clothing to prevent skin exposure. In addition, a Respiratory protection program that complies with OSHA 29 CFR 1910.134 and ANSI Z88.2 requirements or European Standard EN 149 must be followed whenever workplace conditions warrant respirator use.

Engineering Controls: The use and storage of this material requires user to maintain and make available appropriate eyewash and safety shower facilities. Use appropriate ventilation method to keep airborne concentrations a low as possible.

Exposure Limits: No exposure limits for this material have been established by ACGIH, NIOSH, or OSHA.

SECTION 9 - PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Data Not Available

SECTION 10 - STABILITY AND REACTIVITY

Hazardous polymerization will not occur.

SECTION 11 - TOXICOLOGICAL INFORMATION

Route of Exposure

Eye Contact: Data not available.
Skin Contact: Data not available.
Skin Absorption: Data not available.
Inhalation: Data not available.
Ingestion: Data not available.
Parenteral Exposure: Data not available.

Sensitization

Skin: Data not available
Respiratory: Data not available

Target Organ(s) or System(s): Data not available

Signs and Symptoms of Exposure

Skin and Mucous Membranes: Data not available
Respiratory: Data not available
Gastrointestinal: Data not available

American Type Culture Collection (ATCC®)
P.O. Box 1549
Manassas, VA 20110 USA
www.atcc.org

(800) 638-6597 or 703-365-2700
Fax: 703-365-2750
Doc ID: 8409
Effective Date: 08/13/2012
Revision: 4



THE ESSENTIALS OF LIFE SCIENCE RESEARCH
GLOBALLY DELIVERED™

SAFETY DATA SHEET

Toxicity Data:	Data not available
Effects of Long Term or Repeated Exposure:	Data not available
Chronic Exposure-Teratogen:	Data not available
Chronic Exposure-Mutagen:	Data not available
Chronic Exposure-Reproductive Hazard:	Data not available

SECTION 12 - ECOLOGICAL INFORMATION

No ecological information available.

SECTION 13 - DISPOSAL CONSIDERATIONS

Decontaminate all wastes before disposal (steam sterilization, chemical disinfection, and/or incineration).

Dispose of in accordance with applicable regulations.

SECTION 14 - TRANSPORT INFORMATION

Contact ATCC for transport information.

SECTION 15 - REGULATORY INFORMATION

Contact ATCC for regulatory information.

SECTION 16 - OTHER INFORMATION

DATE REVISED: JUNE 1, 2016

THE INFORMATION PRESENTED IN THIS DOCUMENT IS BELIEVED TO BE CORRECT BASED UPON DATA AVAILABLE TO ATCC. USERS SHOULD MAKE AN INDEPENDENT DECISION REGARDING THE ACCURACY OF THIS INFORMATION BASED ON THEIR NEEDS AND DATA AVAILABLE TO THEM. ALL SUBSTANCES AND MIXTURES MAY PRESENT UNKNOWN HAZARDS AND ALL NECESSARY SAFETY PRECAUTIONS SHOULD BE TAKEN. ATCC ASSUMES NO LIABILITY RESULTING FROM USING OR COMING IN CONTACT WITH THIS SUBSTANCE.

American Type Culture Collection (ATCC®)
P.O. Box 1549
Manassas, VA 20110 USA
www.atcc.org

(800) 638-6597 or 703-365-2700
Fax: 703-365-2750
Doc ID: 8409
Effective Date: 08/13/2012
Revision: 4

